



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**EVALUACIÓN FUNCIONAL DE UN
SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN**

INGENIERÍA INDUSTRIAL

AUTORA: M^a BELÉN FERNÁNDEZ SAAVEDRA
DIRECTOR: RAÚL SÁNCHEZ REÍLLO

SEPTIEMBRE 2006



Índice de contenidos:

1. Introducción y objetivos del proyecto.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Objetivos del proyecto.....	3
1.3 Herramientas utilizadas.....	4
1.4 Estructura de la memoria.....	5
2. Sistemas de identificación biométrica.....	6
2.1 Definición de biometría y aspectos generales.....	7
2.1.1 Evaluación de las técnicas biométricas.....	7
2.1.2 Autenticación e identificación.....	8
2.2 Etapas de un sistema de autenticación.....	11
2.2.1 Captura de los datos.....	12
2.2.2 Preprocesado.....	13
2.2.3 Extracción de características.....	13
2.2.4 Comparación.....	14
2.3 Tipos de sistemas de identificación.....	17
2.3.1 Análisis facial.....	18
2.3.2 Huella dactilar.....	19
2.3.3 Escaneo de retina.....	20
2.3.4 Geometría de la mano.....	21
2.3.5 Firma.....	22
2.3.6 Reconocimiento por voz.....	22
2.4 Utilidades y aplicaciones.....	24
2.5 Aspectos legales y jurídicos.....	25
3. Identificación biométrica mediante iris ocular.....	27
3.1 Anatomía del ojo	28
3.2 Potencialidad del iris para la identificación biométrica.....	31
3.3 Nacimiento y evolución de la técnica de reconocimiento de iris	34
3.4 Fases del sistema de identificación.....	35
3.4.1 Captura de la imagen.....	36
3.4.2 Preprocesado de la imagen.....	39
3.4.3 Extracción de características.....	48



3.4.4	Etapa de verificación.....	51
3.5	Aplicaciones actuales.....	53
4.	Metodología de evaluación basada en ICE 2005.....	55
4.1	Origen de ICE (Iris Challenge Evaluation).....	56
4.2	La base de datos.....	59
4.3	La estructura de ficheros XML.....	61
4.4	Resultados de ICE 2005.....	64
5.	Desarrollo efectuado y resultados obtenidos.....	69
5.1	Aplicación desarrollada para la utilización de la base de datos.....	70
5.1.1	Uso de la aplicación.....	71
5.2	Sistema de identificación.....	74
5.2.1	Captura.....	74
5.2.2	Preprocesado.....	75
5.2.3	Extracción de características.....	79
5.2.4	Comparación.....	80
5.2.5	Obtención de resultados.....	81
5.3	Aplicación desarrollado para la evaluación del sistema de identificación.....	83
5.3.1	Uso de la aplicación.....	84
5.4	Resultados obtenidos.....	89
5.4.1	Experimento 1: ojos derechos.....	89
5.4.2	Experimento 2: ojos izquierdos.....	90
5.4.3	Comentarios sobre los resultados.....	91
6.	Conclusiones y líneas futuras.....	94
6.1	Conclusiones.....	95
6.2	Líneas futuras.....	96
7.	Bibliografía.....	97



Índice de figuras:

Figura 2.1.	Esquema de las etapas de un sistema de identificación.....	12
Figura 2.2.	Distribuciones de probabilidad para usuario e impostor del sistema.....	15
Figura 2.3.	Puntos clave de la estructura de tejidos dueros del rostro.....	18
Figura 2.4.	Patrones de huellas.....	19
Figura 2.5.	Patrón de venas observado al escanear la retina.....	20
Figura 2.6.	Geometría de una mano con ciertos parámetros extraídos.....	21
Figura 3.1.	Ojo humano.....	28
Figura 3.2.	Sección transversal del ojo humano.....	29
Figura 3.3.	Iris ocular.....	31
Figura 3.4.	Conjunto de iris oculares con diferentes estructuras y tonalidades.....	32
Figura 3.5.	Etapas de un sistema de identificación biométrica por iris.....	35
Figura 3.6.	Sistemas propuestos por Daugman y Wildes.....	37
Figura 3.7.	Sistemas comerciales para la captura de iris.....	38
Figura 3.8.	Captura del iris.....	39
Figura 3.9.	Ejemplos de solapamiento de los párpados.....	41
Figura 3.10.	Localización del contorno externo del iris.....	41
Figura 3.11.	Eliminación de puntos irrelevantes al borde externo.....	42
Figura 3.12.	Fases del preprocesado.....	43
Figura 3.13.	Localización y eliminación de puntos irrelevantes del iris.....	44
Figura 3.14.	Fronteras externa e interna del iris.....	44
Figura 3.15.	Transformación del iris para la extracción de características.....	45
Figura 3.16.	Posición de la circunferencia de la firma.....	46
Figura 3.17.	Imágenes de las diferentes fases de la extracción de características.....	47
Figura 3.18.	Representación de los valores de la firma del iris	48
Figura 4.1.	Esquema de funcionamiento de ICE 2005.....	57
Figura 4.2.	Imagen iris derecho.....	59
Figura 4.3.	Imagen iris izquierdo.....	59
Figura 4.4.	Segmento de un fichero XML.....	62
Figura 4.5.	Diagrama de bloques de la tasa de verificación para una FMR=0.001.....	65
Figura 4.6.	Ampliación del diagrama de bloques para una FMR=0.001.....	66
Figura 4.7.	Diagrama de bloques de la tasa de verificación para una FMR=0.0001.....	66
Figura 4.8.	Ampliación del diagrama de bloques para una FMR=0.0001.....	67
Figura 4.9.	Diagrama de bloques de los algoritmos con intervención manual.....	68
Figura 5.1.	Pantalla principal de la aplicación que gestiona la base de datos.....	70
Figura 5.2.	Elementos que componen la pantalla principal de la aplicación.....	71
Figura 5.3.	Pantalla de error.....	72
Figura 5.4.	Localización del contorno exterior.....	76
Figura 5.5.	Localización del borde interno.....	77
Figura 5.6.	Representación gráfica de la firma de iris.....	79
Figura 5.7.	Matriz resultado de comparar los vectores	81
Figura 5.8.	Pantalla para la elección del fichero XML y la base de datos.....	83
Figura 5.9.	Pantalla principal para el análisis de los algoritmos.....	83



Figura 5.10.	Cuadro de diálogo para seleccionar un fichero XML.....	85
Figura 5.11.	Elementos que componen la pantalla principal de la aplicación.....	85
Figura 5.12.	Pantalla en la que se muestra como elegir los resultados.....	86
Figura 5.13.	Pantalla en la que se muestran los resultados obtenidos.....	88
Figura 5.14.	FMR de los diferentes algoritmos para ambos experimentos.....	91



Índice de tablas:

Tabla 5.13.	Estadísticas de la evaluación efectuada siguiendo el experimento 1.....	90
Tabla 5.14.	Estadísticas de la evaluación efectuada siguiendo el experimento 2.....	90



Capítulo 1:

Introducción y objetivos del proyecto

Este capítulo trata de ser una breve introducción a todo el trabajo desarrollado para este proyecto además de definir desde un primer momento los objetivos planteados en el mismo.

En primer lugar se ofrecerá una introducción general que sitúe el proyecto dentro del marco temporal en el que se produce el desarrollo del mismo, así como en el que se encuentran actualmente la biometría, los sistemas de identificación y sobre todo los sistemas que se encargan de evaluar a los anteriores.

A continuación se detallarán los principales objetivos a conseguir durante el desarrollo del presente proyecto así como determinadas pautas relacionadas con estos.

Luego se describirán las herramientas empleadas para la implementación del mismo además de las razones que han llevado a ello.

Por último se ofrecerá una relación de los capítulos que conforman la estructura de la presente memoria elaborada como documentación del proyecto fin de carrera.



1.1. Introducción

La biometría y sobre todo la identificación biométrica informática es una tecnología que se encuentra hoy en día en pleno desarrollo, tanto en el ámbito de la investigación como en el de la implantación en la vida cotidiana. Esta rápida evolución se debe a la preocupación actual por el tema de la seguridad y a la vinculación que tiene esta técnica para asegurar la misma.

Actualmente existen diversos sistemas de identificación que utilizan estas técnicas tanto para asegurar el control físico de personas como el acceso de estas a sistemas informáticos, recintos que precisan seguridad, información bancaria, etc.

Pero al mismo tiempo que se desarrolla esta tecnología, surge la inquietud de saber la viabilidad que ésta posee en cuanto al reconocimiento e identificación de personas, sobre todo cuando nos encontramos frente a un grupo extenso.

De aquí que en los últimos años hayan surgido iniciativas tanto públicas como privadas para evaluar además de las diferentes técnicas biométricas, los algoritmos que las constituyen, así como los sistemas de seguridad en los que estas se encuentran implementadas.

Dado el actual auge de la biometría, y la gran inquietud por la seguridad y viabilidad de sus sistemas, en este proyecto se va a evaluar un sistema de identificación basado en la técnica de iris ocular frente a un conjunto amplio de personas.

En las siguientes páginas que siguen a esta breve introducción se detallará todo lo relacionado con la ejecución de este proyecto: los objetivos a conseguir, las pautas que se van a seguir, las herramientas necesarias además de otros aspectos necesarios para su comprensión.



1.2. Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es realizar una evaluación funcional de un sistema de identificación. Dentro de esta evaluación se trata de analizar el rendimiento de los sistemas de identificación biométrica basados en la técnica de reconocimiento a través del iris ocular.

El sistema de identificación a examinar está basado en trabajos anteriores desarrollados por el tutor de este proyecto Dr. Raúl Sánchez Reíllo y completado con otros trabajos como el proyecto fin de carrera de Paloma Ferruelo Soler. Se pretende analizar los resultados de los diferentes algoritmos implementados en dichos sistemas al procesar las imágenes de toda una base de datos.

La forma de evaluar el sistema va a ser mediante la identificación. Se va a realizar una comparación de cada una de las muestras disponibles en la base de datos con el resto de imágenes. Del resultado de dicha comparación se obtendrán una serie de estadísticas que son las que van a permitir analizar el rendimiento del sistema.

La metodología a seguir en la evaluación está basada en la utilizada por una institución independiente, el NIST (*National Institute of Standards and Technology*), para uno de sus concursos, ICE (*Iris Challenge Evaluation*). Esta a su vez, ha sido la encargada de proporcionar la base de datos a analizar además de proporcionar una idea sobre los procedimientos a seguir para llevar a cabo la misma.



1.3. Herramientas utilizadas

Para poder llevar a cabo el desarrollo del proyecto ha sido necesaria la implementación de determinadas aplicaciones que efectúen las tareas que consigan lograr los objetivos marcados anteriormente. Para ello se han utilizado una serie de recursos y herramientas.

La principal herramienta utilizada ha sido el entorno de desarrollo **Borland Builder 5**. Esto se debe a que dicho entorno permite la creación de una interfaz gráfica de manera fácil y sencilla además de ser muy útil para realizar las aplicaciones antes mencionadas.

El lenguaje de programación utilizado sobre dicho entorno ha sido C++. Este es un lenguaje de programación orientada objetos que permite la programación estructurada tanto a alto como a bajo nivel y que dispone de todo lo necesario para la implementación de todo el proceso a desarrollar.

A parte de los motivos dados anteriormente, otra de las razones de emplear estas herramientas, ha sido principalmente porque tanto las librerías como los métodos y funciones desarrollados previamente y que han sido utilizados dentro del proyecto estaban implementados en este entorno de desarrollo y programados con este lenguaje.



1.4. Estructura de la memoria

La estructura seguida para la elaboración de la memoria ha consistido en dividirla en capítulos, cuyo contenido es el siguiente:

- Introducción y objetivos del proyecto: se trata del presente capítulo en el que se comenta brevemente el marco en el que se encuentra el proyecto y se definen los objetivos a conseguir.
- Definición de biometría y enumeración de las diferentes técnicas biométricas. Este tema ocupa el Capítulo 2 y pretende ser una introducción general a la biometría.
- Descripción de la técnica de reconocimiento basada en iris ocular y de los sistemas de identificación. Este apartado compone el Capítulo 3 de la memoria y en él se explican tanto las bases de esta técnica como todo el procedimiento que sigue un sistema de identificación fundamentado en dicha técnica.
- Metodología de evaluación: este apartado se trata en el Capítulo 4 y en el se especifican además de las pautas a seguir en la evaluación, las características de la base de datos a utilizar en la misma.
- Desarrollo efectuado y resultados obtenidos en el trabajo llevado a cabo. Este tema se expone en el Capítulo 5 y en el se detalla todo el procedimiento realizado para efectuar la evaluación del sistema de identificación y los resultados obtenidos en la misma.
- Conclusiones, líneas futuras y bibliografía: estos componen los últimos capítulos de la memoria. En ellos se dan a conocer las conclusiones obtenidas en el desarrollo del proyecto, las posibles mejoras o trabajos futuros relacionados con el mismo y por último, las referencias utilizadas para la comprensión del mismo.



Capítulo 2:

Sistemas de identificación biométrica

En este capítulo se va a realizar una introducción general a la biometría y a las diferentes técnicas biométricas existentes hoy en día empleadas dentro de los sistemas de identificación.

En primer lugar se proporcionará una definición formal del término *biometría* además de definir las características y los requisitos que debe poseer cualquier rasgo a partir del cuál se quiera desarrollar una técnica biométrica. También se explicará la diferencia que existe entre los términos de autenticación o el reconocimiento y cómo son los sistemas biométricos basados en cada uno de ellos.

A continuación se comentará de forma general las diferentes etapas de las que consta un sistema de identificación para luego pasar a detallar cada una de las diferentes técnicas biométricas que se pueden encontrar en la actualidad ya implantadas o bajo estudio y desarrollo para ser utilizadas dentro de sistemas de seguridad y reconocimiento de individuos.

Por último, se enumerarán diferentes aplicaciones de los sistemas biométricos y se abordará el tema desde el punto de vista legal o jurídico, dada su gran implicación en los sistemas de seguridad para, posteriormente, ver cómo puede afectar esto a la privacidad de las personas.



2.1. Definición de biometría y aspectos generales

El término biometría se define, según la Real Academia de la Lengua Española (RAE), como *el estudio mensurativo o estadístico de los fenómenos o procesos biológicos*.

Pero esta definición es demasiado general. Si centramos la misma en el ámbito de la autenticación de personas, al cuál nos vamos a referir en este documento, se puede definir la biometría como *la verificación de la identidad de un sujeto, basándose en ciertos elementos morfológicos que le son inherentes*. Estos elementos morfológicos van a ser propios de la persona lo cuál proporciona a la biometría un alto grado de fiabilidad.

Por tanto, se puede concluir que la biometría es un método automatizado empleado para la autenticación de individuos mediante el estudio de ciertas características físicas o del comportamiento de la persona. Gracias a ello, mediante esta técnica se puede recopilar información acerca de cierto rasgo distintivo de un individuo, como puede ser su voz, sus huellas dactilares, etc., para así poder compararla con otras muestras tomadas anteriormente o pertenecientes a otros sujetos.

A continuación y antes de pasar a describir cómo es un sistema biométrico, se van a comentar aspectos generales relacionados con la biometría y con las técnicas biométricas que se han considerado relevantes para la comprensión de futuros temas tratados en este documento.

2.1.1. Evaluación de las técnicas biométricas

Los requisitos que se deben cumplir para que cualquier característica de un individuo pueda utilizarse como rasgo válido para la identificación biométrica son los siguientes:

- *Universalidad*: el rasgo biométrico debe estar presente en todos los individuos.
- *Singularidad*: debe ser lo suficientemente característico como para diferenciar a dos individuos entre sí.



- *Estabilidad*: tiene que tratarse de una característica lo bastante estable como para que no cambie a lo largo del tiempo y ante las distintas condiciones ambientales.
- *Cuantificabilidad*: es necesario que el rasgo sea mensurable en términos cuantitativos para poder así realizar el correcto procesamiento de la información capturada.
- *Aceptabilidad*: las personas deben aceptar dicho sistema para poder formar parte de él, puesto que su participación es indispensable.
- *Rendimiento*: el nivel de exactitud requerido debe ser elevado para conseguir su aceptación y su posible implantación.
- *Resistencia al fraude*: establecimiento de un nivel al cual el sistema es capaz de resistir ante técnicas fraudulentas.

Todos estos requisitos mencionados posibilitan disponer de un conjunto de técnicas y herramientas que permiten reconocer a una persona o verificar su identidad.

2.1.2. Autenticación e identificación

Se va a realizar una distinción entre estos dos términos debido a su importancia dentro de los sistemas biométricos ya que dependiendo de si se trata de un sistema de identificación o de verificación será destinado a aplicaciones diferentes.

2.1.2.1. Identificación o reconocimiento

En los sistemas biométricos basados en la identificación de los individuos, resulta necesario comparar las muestras de entrada al sistema con todos los patrones de los usuarios inscritos en dicho sistema.

El sistema, en este caso, trata de averiguar quién es esa persona, es decir, intenta ofrecer información sobre un individuo del cual se desconoce su identidad. Para ello será necesario disponer de una base de datos en la que se encuentre almacenada toda la información biométrica de un grupo de personas.

Todo este proceso supone una gran carga para el sistema puesto que debe comparar las características del individuo en cuestión con todos y cada uno de los patrones almacenados en la base de datos.



El gran inconveniente de este tipo de esquema es el hecho de necesitar una base de datos para poder almacenar en ella todos los patrones tomados, así como una red de comunicaciones que permita la comunicación entre este sistema de almacenamiento de la información de los usuarios y cada uno de los puntos de reconocimiento.

El almacenamiento de estos patrones debe realizarse de un modo estructurado y organizado para así facilitar los procedimientos de comparación con las muestras que en él se encuentran almacenadas. Una de las posibles formas de estructurar este sistema de datos es el de incluir etiquetas identificadoras del usuario al que pertenecen, valores de umbral a emplear en la decisión, etc.

Un posible ejemplo de utilización de la identificación sería la biometría forense. Esta técnica se emplea para conocer la identidad de individuos que han sido víctima de algún crimen, accidente, etc. Para ello es necesario disponer de una base de datos que posea información sobre todos los sujetos de la población.

2.1.2.2. Verificación o autenticación

Este otro tipo de sistema trata de autenticar la identidad reclamada por el usuario, y por tanto, las muestras de éste sólo se comparan con el patrón perteneciente a la identidad reclamada.

La persona indica poseer cierta identidad y el sistema es el encargado de comprobar si ésta es o no cierta. En este caso, el usuario, además de ofrecer su característica biométrica correspondiente, deberá adjuntar un identificador de su identidad, como puede ser un login y/o password, un sistema de tipo token o similar.

En estos sistemas la carga computacional es mucho menor que el grupo anterior, puesto que únicamente es necesario realizar una comparación (en lugar de las múltiples comparaciones que requería el sistema de identificación).

Hay que destacar que resulta imprescindible fijar el valor de cierto umbral. Este valor umbral mide el grado de diferencia permitido entre el vector de características hallado en el momento de solicitar la verificación y el del



patrón almacenado en el sistema, puesto que debido a diversos factores externos o ambientales, la información capturada en el momento de la verificación puede no ser exactamente igual a la almacenada.

En este caso, a diferencia del caso anterior, sólo es necesario almacenar un patrón, y por ello no es necesario disponer de una base de datos para el almacenamiento de la información; llegando incluso a ser posible almacenar el patrón en un dispositivo portátil, como por ejemplo una tarjeta inteligente, una PDA, etc., siempre y cuando el tamaño de dicho patrón sea lo suficientemente pequeño.

Un ejemplo de aplicación de este tipo de sistemas sería el control de acceso a un servicio personal como puede ser un ordenador, cuenta bancaria, etc.

En apartados posteriores de este mismo capítulo, se explicará detalladamente el funcionamiento de estos dos tipos de sistemas de autenticación biométrica, así como la forma de realizar las comparaciones entre los patrones y cómo se toman las decisiones de aceptación o rechazo de acceso al sistema en cuestión.



2.2. Etapas de un sistema de autenticación

A pesar de la gran diversidad existente entre las técnicas biométricas desarrolladas o en pleno desarrollo, el esquema del sistema de identificación se mantiene invariable para cualquiera de ellas. De este modo, el esquema general en el que se basan todos y cada uno de los sistemas biométricos es el siguiente:

- **Reclutamiento:** en esta fase se toman todas las muestras del usuario necesarias para posteriormente procesarlas y poder así extraer de ellas el *patrón* de cada uno de los usuarios. Todos estos patrones serán almacenados para poder utilizarlos cuando sea necesario en los procesos de autenticación que sean solicitados.

El principal objetivo del reclutamiento es conseguir capturar señales con la mayor calidad posible, ya que a partir de estas señales deberá generarse el patrón correspondiente para cada uno de los usuarios del sistema. Este proceso se realiza de manera única y supervisada por un operario que controle en todo momento el correcto uso del sistema, la identidad del usuario que se está reclutando en el mismo, así como la correcta captura de los datos, de manera que si éstos no poseen cierta calidad, serán rechazados y deberá realizarse una nueva adquisición de los datos biométricos.

- **Utilización:** tras haber almacenado el patrón en la fase descrita anteriormente, el usuario puede proceder a utilizar el sistema con toda normalidad, solicitando identificación o autenticación, dependiendo de la utilidad desarrollada en la aplicación. En ambos casos se compararán los datos capturados en ese instante con los almacenados en el proceso de reclutamiento y se tomará la decisión de éxito o de fracaso de dicha comparación.

Sin embargo, las dos fases descritas arriba, se basan en un mismo procedimiento interno, es decir que realizan una serie de bloques comunes para ambas, tal y como puede observarse en la Figura 2.1, y que se pasarán a explicar con detalle a continuación.

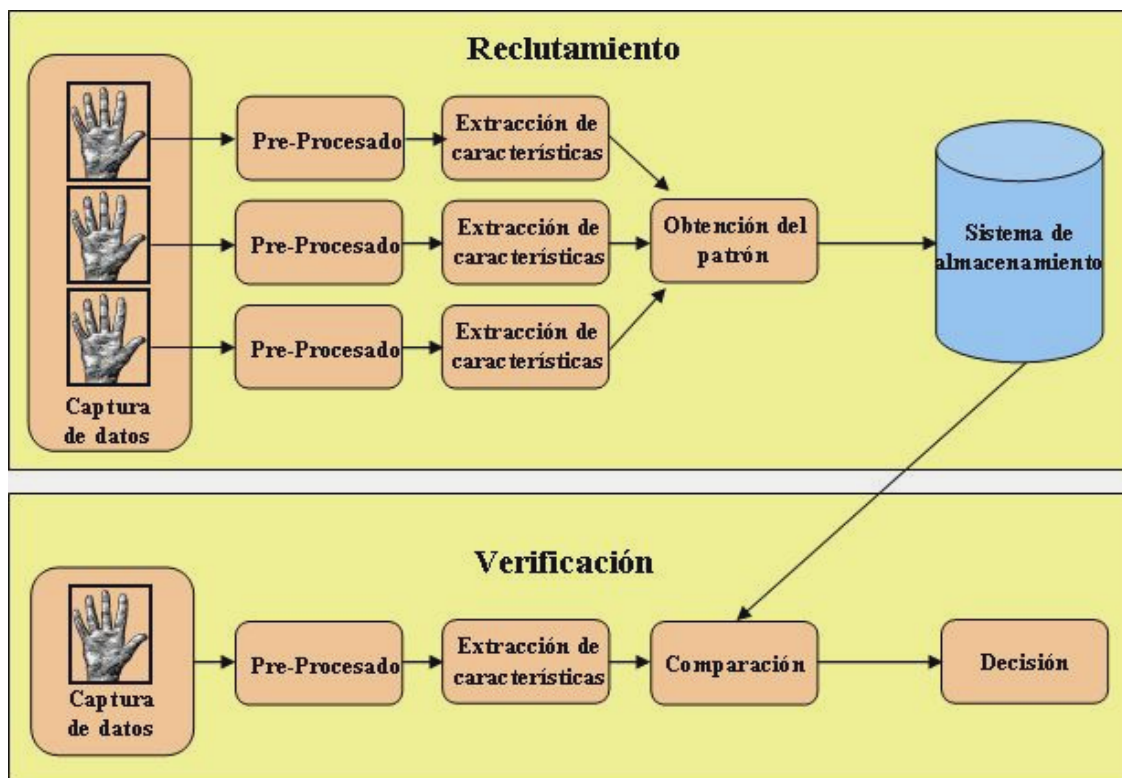


Figura 2.1. Esquema de las etapas de un sistema de identificación biométrica [Fer06].

2.2.1. Captura de los datos

Tal y como se muestra en el esquema anterior, ésta es la primera etapa del sistema, y por tanto la encargada de adquirir los datos biométricos con los que se construirá el patrón a almacenar o el vector de características a comparar con dicho patrón.

La adquisición de estos datos depende de la técnica biométrica que se vaya a emplear, y por tanto en función de ellos se requiere el uso de unos u otros dispositivos, así como de muchas variantes para una misma técnica. Algunos de estos dispositivos pueden ser: sensores ópticos para la captura de imágenes en procesos de identificación mediante huella dactilar, tabletas digitales para el caso de la firma manuscrita, sistemas de registro de voz, etc.

En el caso de la captura de datos durante la fase de reclutamiento, este proceso puede resultar más complicado de lo que cabe pensar en un primer momento. Puede incluso requerir la captura repetida de datos en el mismo



momento del reclutamiento o en varias sesiones (en diferentes días o semanas), como por ejemplo para el caso del reconocimiento de voz (para tener en cuenta las posibles variaciones que puedan parecer en la voz del usuario cuando éste se vea afectado por dolencias en las cuerdas vocales, irritación de garganta, etc.). Este hecho puede incomodar y resultar un proceso demasiado largo para el usuario, y por tanto convierte a esta fase del sistema de identificación en la más larga y tediosa. Por este motivo, además de tomar los datos necesarios para el sistema, se aprovecha esta etapa para explicar al usuario el correcto funcionamiento y resolver todas las dudas que puedan surgirle.

2.2.2. Preprocesado

Los datos capturados, tal y como son tomados por el dispositivo, poseen un tamaño y una complejidad que los hace poco viables a la hora de su tratamiento. Por este motivo, se realiza un procesamiento de dicha información que permita realizar un manejo más eficiente y preciso de éstos, puesto que dichos datos deberán ser empleados en los algoritmos de la etapa de extracción de características.

La realización de unas u otras funciones en esta etapa, dependerá de la técnica biométrica que se esté empleando. Algunos ejemplos de posibles acciones a realizar en esta fase del sistema pueden ser: eliminación de datos incluidos en la captura y que no sean necesarios para la extracción de características, aplicar filtros con el fin de eliminar ruido o información ajena a la que interesa analizar, normalizar el tamaño de la imagen capturada para que ésta se mantenga dentro de unos límites prefijados por los algoritmos a aplicar en las etapas sucesivas, etc.

2.2.3. Extracción de características

Supone el bloque más importante de todo el proceso, puesto que es el encargado de construir el vector de características en el que se basa todo el sistema. Para la obtención de dicho vector, se aplican diversos algoritmos matemáticos encargados de extraer las características biométricas, presentes en la captura original, más relevantes a efectos de comparación entre diferentes muestras.



En caso de desconocer estas características más relevantes, a la hora de extraer el vector se pueden emplear técnicas basadas en redes neuronales, que permitan mediante el correcto entrenamiento, modelar el proceso para obtener los resultados que se esperan conseguir.

Tras dicho procesado se obtiene el vector de características, consistente en una representación invariante y compacta de la muestra biométrica. Con esta información se genera el vector de características, que será el empleado en los procesos de comparación y toma de decisiones.

2.2.4. Comparación

Tras obtener el vector de características, se debe proceder a la comparación del vector obtenido con el o los patrones almacenados previamente, dependiendo de si se trata de un proceso de verificación o identificación, respectivamente.

Este bloque del sistema se encarga de calcular la medida o grado de similitud entre los vectores característicos a comparar. Pero a diferencia de otros sistemas tradicionales, en este caso, el resultado de la comparación no es binario, sino que se basa en porcentajes de similitud.

Para tomar una decisión, el valor de similitud obtenido se compara con el valor umbral previamente establecido en la fase de reclutamiento, para así determinar si se trata de una operación finalizada con éxito o si por el contrario, se trata de una operación fracasada. Es importante tener en cuenta que el valor umbral puede variar de persona a persona y para cada intento de verificación.

El resultado de la comparación se toma de un modo diferente en función de si se trata de un proceso de autenticación o de identificación. Para este último caso, el resultado de la comparación puede ser considerado positivo si se identifica con el usuario que ha ofrecido una mayor probabilidad, o rechazarse si el usuario con mayor probabilidad no ha superado el valor de umbral fijado. En el caso de la verificación, la decisión es positiva únicamente si el resultado de la comparación es superior al valor umbral fijado para dicho usuario.

El hecho de colocar los valores de umbral excesivamente bajos, provoca que los sistemas sean demasiado tolerantes y exista una alta tasa de verificaciones positivas para usuarios diferentes (*FMR: False Match Rate*), lo que facilita que posibles impostores suplanten al usuario sin demasiadas dificultades. Si por el contrario, su valor es demasiado alto, los sistemas serán muy restrictivos y existirá una alta tasa de rechazos para el usuario correcto (*FNMR: False Non Match Rate*). Esto resultados pueden observarse más claramente en la Figura 2.2 (a).

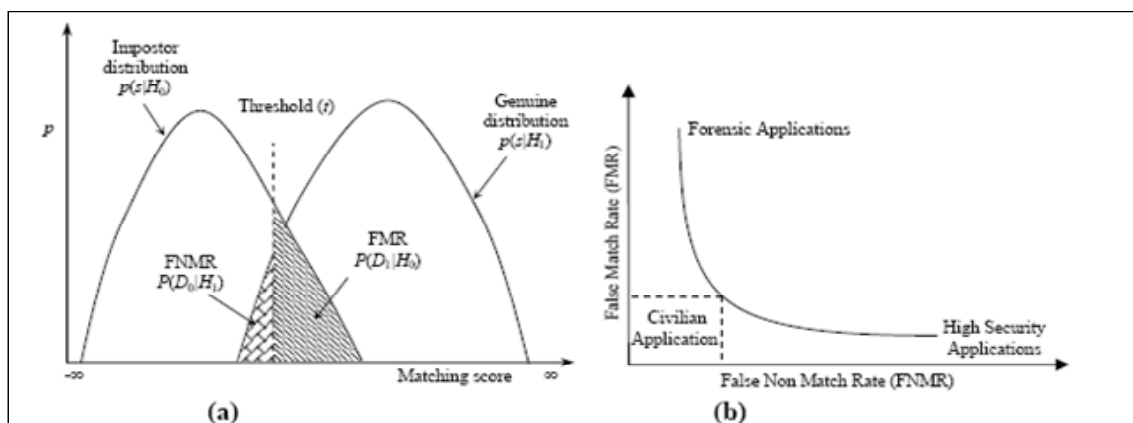


Figura 2.2. Distribuciones de probabilidad para usuario e impostor del sistema (a) y posibles campos de aplicaciones de esta técnica en función de estos resultados (b) [UaB01].

Por tanto, el mantenimiento de un compromiso aceptable entre un exceso de rechazo o la facilidad de suplantación, es uno de los retos más importantes en este tipo de sistemas. Se suelen asociar valores de umbral bajos a aplicaciones poco comprometidas como el acceso a información general de una compañía donde el coste o riesgo ante una falsa aceptación sea bajo, y umbrales altos para aplicaciones que exijan valores de seguridad elevados donde sea preferible exigir al usuario que repita el proceso hasta que se supere el umbral antes que exponerse al riesgo de una intrusión como se muestra en la Figura 2.2 (b).

El hecho de que diferentes patrones tomados para un mismo usuario no coincidan se debe principalmente a:

- *Ruido*: las medidas reales están alteradas por el ruido del sensor empleado para la captura y por el ruido existente en el propio



entorno de trabajo, lo cual también se puede ver afectado si las capturas no se realizan siempre con el mismo dispositivo, debido a diferencias en las calibraciones, etc.

- *Variabilidad inherente*: la variación de patrones en el caso de individuos se puede deber al envejecimiento, estado de salud, bronceado de la piel, etc.
- *Traslaciones*: los individuos no siempre se encuentran en una misma ubicación, sino que pueden encontrarse en posiciones diferentes.
- *Cambio de escala*: también se ven influidos por la distancia al sensor o cámara, posición del zoom, etc., lo cual puede provocar que la información capturada tenga más o menos nitidez o un tamaño mayor o menor.

Por estos motivos, el sistema de reconocimiento debe considerar estas fuentes de variabilidad. Esto puede realizarse, en algunos casos, mediante un preprocesado que compense estos efectos, como por ejemplo la normalización del tamaño para evitar las consecuencias que provocan los cambios de escala.

No hay que olvidar que la solución dependerá del tipo de problema, el cual depende de la aplicación biométrica en cuestión. Por ejemplo, en un sistema de huella no hay problema de escala puesto que el dedo siempre se coloca sobre el sensor, pero si hay problemas de traslaciones y/o rotaciones.



2.3. Tipos de sistemas de identificación

Tal y como ya se ha mencionado, para evaluar un sistema biométrico es necesario tener en cuenta las siguientes características:

- El rendimiento con respecto a su función, que es el reconocimiento automático de personas.
- La seguridad, integridad y confidencialidad de los datos manejados.
- La fiabilidad, disponibilidad y mantenimiento del sistema y de la aplicación.
- Los términos referentes a su comercialización como es la situación de costes y beneficios.
- La aceptación y/o facilidad de manejo por los propios usuarios.
- Las cuestiones legales, ya que puede considerarse que estos sistemas atentan la privacidad de los individuos.

El objetivo de estos sistemas es ser capaces de aceptar usuarios reales y rechazar a posibles impostores, minimizando cierta función de coste que considere las probabilidades de la ocurrencia de falsas aceptaciones (impostor aceptado en el sistema) y falsos rechazos (usuario registrado es rechazado por el sistema). Para evaluar las capacidades de cualquier sistema biométrico es necesario que se realicen pruebas con una gran cantidad de usuarios registrados, así como de impostores, lo cual generalmente se realiza mediante el empleo de bases de datos generadas para estos fines.

En función de las características empleadas para la identificación, se diferencian dos grandes tipos o clases de sistemas biométricos:

- **Biometría estática:** basada en el análisis y medida de características físicas, es decir, aquellas vinculadas y relacionadas con determinados órganos y sistemas del cuerpo humano. Dentro de este grupo se encuentran entre otras: huella dactilar, retina e iris, geometría de la mano y/o dedo, venas de muñecas y manos, etc.
- **Biometría dinámica:** centrada en el estudio de características de tipo funcional, o lo que es lo mismo relacionadas con la conducta. Algunas de ellas pueden ser: escritura manuscrita, voz, tecleo, andadura, etc.



- **Mixtos:** aquellos sistemas que emplean conjuntamente las características descritas anteriormente.

Teniendo en cuenta todo esto, a continuación se procede a describir brevemente algunas técnicas biométricas que ya se han desarrollado o que se encuentran en pleno estudio.

2.3.1. Análisis facial

De todos los rasgos anatómicos, el rostro es el elemento que con más frecuencia utilizamos los seres humanos para identificar a otro individuo. Para ello, el cerebro comienza por establecer los aspectos físicos de una cara, a continuación determina si estas facciones son o no conocidas y, por último, procede a otorgar un nombre a lo que ve.

Este proceso tan aparentemente sencillo para nosotros puede resultar muy difícil para una máquina. Para ello suele emplearse un WebCam encargada de la captura de la imagen del rostro. Cuando una persona se ubica frente a dicha cámara, el programa o software empleado proyecta diferentes coordenadas (como muestra la Figura 2.3) mediante cálculos matemáticos, para con ellos conseguir la formación de la cara dentro de un rectángulo virtual. Posteriormente se compararán las características faciales con los patrones almacenados, y en caso de encontrar coincidencia entre alguno de ellos se permite el acceso.



Figura 2.3. Puntos clave de la estructura de tejidos duros del rostro [Tec01].

Pese a las dificultades de imitar tan sofisticado proceso, los sistemas biométricos de reconocimiento facial empiezan a dar resultados. Aunque se trata de una tecnología no madura, en los últimos años ha aumentado la inversión y las expectativas depositadas en ella. Se imponen sus ventajas: es universal (todo el mundo tiene una cara), resulta fácil de obtener, no es intrusiva y puede medirse a cierta distancia sin que el sujeto sea consciente de

ello. Pero no hay que olvidar que presenta también ciertos inconvenientes, como por ejemplo la variabilidad del rostro del individuo a lo largo del tiempo, así como la posible aparición de ciertas características que modifiquen su apariencia: gafas, barba, peinado, etc.

2.3.2. Huella dactilar

Entre todas las características corporales, las huellas dactilares fueron una de las primeras en la historia del ser humano utilizadas para la identificación, tras el estudio de la firma manuscrita y el reconocimiento facial. Desde entonces hasta ahora sólo la tecnología ha cambiado. Los fundamentos siguen siendo los mismos que plantearon sus descubridores, Faulds y Galton.

La epidermis o capa externa de la piel, forma unos patrones en la yema de los dedos de la mano compuestos por crestas y valles que, generalmente, siguen caminos paralelos. La impresión que dejan los dedos, ya sea sobre papel tras mojarse en tinta, en otro material por los propios fluidos exudados o a la luz de un escáner óptico, es distintiva.

El patrón que siguen las líneas y surcos de una huella se puede clasificar según tres rasgos mayores: arco, lazo y espiral como se puede ver en la Figura 2.4. Cada dedo presenta al menos una de estas características, y además, en determinados puntos las líneas de la huella dactilar se cortan bruscamente o se bifurcan. Estos puntos reciben el nombre de minucias, y juntos suman casi el 80% de los elementos singulares de una huella.

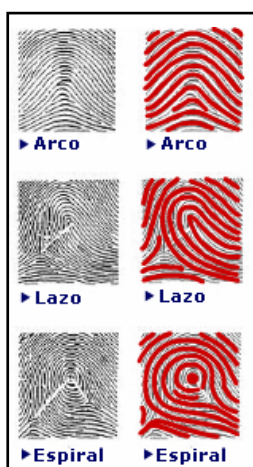


Figura 2.4. Patrones de huellas [Tec01].

Todo esto da lugar a un patrón complejo y único para cada individuo, distinto incluso para gemelos idénticos, y a lo que hay que sumar su estabilidad con el tiempo. En concreto, se estima que la probabilidad de que dos personas tengan las mismas huellas dactilares es aproximadamente de 1 en 64.000 millones [Tec01].

A estas ventajas hay que sumar el alto grado de sofisticación que han alcanzado los sistemas informáticos encargados de digitalizar, archivar y cotejar las huellas dactilares. Cuando se digitaliza una huella, los detalles relativos a las líneas (curvatura, separación,...), así como la posición absoluta y relativa de las minucias extraídas, son procesados mediante algoritmos que permiten obtener un índice numérico correspondiente a dicha huella. En el momento en que un usuario solicita ser identificado, coloca su dedo sobre un lector (óptico, de campo eléctrico, por presión,...) y su huella dactilar es escaneada y analizada con el fin de extraer los elementos característicos y buscar su homóloga en la base de datos. El resultado es un diagnóstico certero en más del 99% de los casos.

2.3.3. Escaneo de retina

A pesar de que hay diversos estudios que demuestran que los vasos sanguíneos de la retina presentan mayor unicidad que los que presenta el iris, esta técnica presenta un elevado rechazo por parte de los usuarios, puesto que para la captura de dichos patrones es necesario emplear exploraciones mediante láseres, lo cual lo convierte en una técnica intrusiva.

En efecto, su utilización exige que el sujeto se sitúe muy cerca de la lente del escáner, manteniendo la mirada fija en las lentes, y permanezca totalmente inmóvil enfocando una luz giratoria mientras un dispositivo escanea su retina durante al menos un minuto. Cualquier pequeño movimiento puede interferir en el proceso.



Figura 2.5. Patrón de venas observado al escanear la retina [Tec01].

2.3.4. Geometría de la mano

A diferencia de las huellas dactilares, la mano humana no es única, y sus características individuales no son suficientes para identificar a una persona. Sin embargo, su perfil resulta útil si el sistema biométrico lo combina con imágenes individuales de algunos dedos, extrayendo datos como las longitudes, anchuras, alturas, posiciones relativas, articulaciones,... Estas características se transforman en una serie de patrones numéricos que permiten su comparación.

Para la captura, el usuario pone su mano en un lector que tiene cuatro topes tipo alfileres, como se muestran en la Figura 2.6. Coloca su mano en el lector de tal manera que los topes paran el movimiento delantero adicional de la mano.

El método de autenticación mide el grosor y la longitud de los dedos y la distancia entre ellos. Con esta información y la aplicación de diversos algoritmos se forma un patrón de pequeño tamaño, lo cual hace que esta técnica presente un gran atractivo, puesto que con él resulta muy sencillo y cómodo el almacenaje y transporte de dichos patrones.

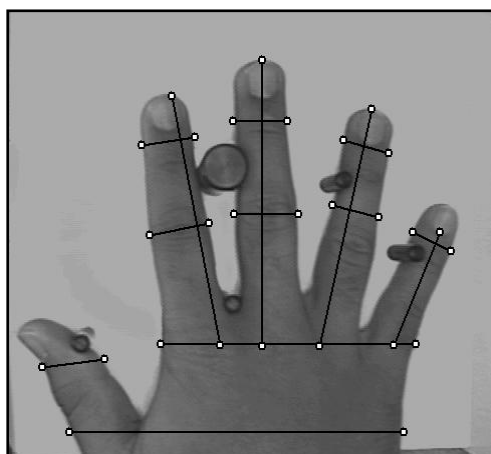


Figura 2.6. Geometría de una mano con ciertos parámetros extraídos [Mun01].



2.3.5. Firma

La verificación en base a firmas es algo que se emplea de manera cotidiana en la tramitación de documentos, cheques, etc. Pero existe una diferencia fundamental entre este uso de las firmas y los sistemas biométricos. Mientras que habitualmente la verificación de la firma consiste en un simple análisis visual sobre una impresión en papel, es decir de manera estática, en los sistemas automáticos, no es posible autenticar usuarios en base a la representación de los trazos de su firma. En los modelos biométricos se utiliza, además la forma de firmar, las características dinámicas: el tiempo utilizado para rubricar, las veces que se separa el bolígrafo del papel, el ángulo con que se realiza cada trazo, etc.

2.3.6. Reconocimiento por voz

En los sistemas de reconocimiento de voz no se intenta, como mucha gente piensa, reconocer lo que el usuario dice, sino identificar una serie de sonidos y sus características para decidir si el usuario es quien dice ser. Para autenticar a un usuario utilizando un reconocedor de voz se debe disponer de ciertas condiciones para el correcto registro de los datos, tales como ausencia de ruidos, reverberaciones o ecos; idealmente, estas condiciones han de ser las mismas siempre que se necesite la autenticación.

Cuando un usuario desea acceder al sistema pronunciará unas frases en las cuales reside gran parte de la seguridad del protocolo. En algunos modelos, los denominados de texto dependiente, el sistema tiene almacenadas un conjunto muy limitado de frases que es capaz de reconocer. Estos modelos proporcionan poca seguridad en comparación con los de texto independiente, donde el sistema va proponiendo a la persona la pronunciación de ciertas palabras extraídas de un conjunto bastante grande. De cualquier forma, sea cual sea el modelo, lo habitual es que las frases o palabras sean características para maximizar la cantidad de datos que se pueden analizar (por ejemplo, frases con una cierta entonación, pronunciación de los diptongos, palabras con muchas vocales...).

Un problema de los sistemas basados en reconocimiento de voz es el tiempo que el usuario emplea hablando delante del analizador, al que se añade



el que éste necesita para extraer la información y contrastarla con la de su base de datos. Aunque actualmente en la mayoría de sistemas basta con una sola frase, es habitual que el usuario se vea obligado a repetirla porque el sistema le deniega el acceso (una simple congestión hace variar el tono de voz, aunque sea levemente, y el sistema no es capaz de decidir si el acceso ha de ser autorizado o no; incluso el estado anímico de una persona varía su timbre...). A su favor, el reconocimiento de voz posee la cualidad de una excelente acogida entre los usuarios, siempre y cuando su funcionamiento sea correcto y éstos no se vean obligados a repetir lo mismo varias veces, o se les niegue un acceso porque no se les reconoce correctamente.



2.4. Utilidades y aplicaciones

Hoy en día, existen diversas aplicaciones de estas técnicas de reconocimiento. Pero debido a la gran trascendencia de estas técnicas en campos relacionados con la seguridad nacional de algunos países, el acceso a las cuentas bancarias, el comercio electrónico, etc., cada vez son más las posibles aplicaciones que se esperan desarrollar a medio y largo plazo. Algunas de estas aplicaciones son:

- Control de acceso tanto a áreas que requieran máxima seguridad, como a determinados equipos que almacenen información confidencial, o incluso a zonas de uso más cotidiano como el propio puesto de trabajo de un sujeto, para que así la empresa tenga total garantía de que sólo aquellos individuos con permiso para acceder a determinadas zonas o equipos acceden a ellos.
- Identificación de presos en los procesos de asistencia y puesta en libertad, para así evitar que puedan escapar de las cárceles suplantando a otros sujetos. Estas técnicas pueden emplearse incluso, para conocer la identidad de los visitantes de estos centros penitenciarios y la autenticación de los propios trabajadores.
- Sistemas de identidad nacional: hoy en día naciones de todo el mundo estudian la implantación de sistemas de identificación de la población basados en determinados controles biométricos.
- Sustitución de números PIN de teléfonos móviles u otros dispositivos por sensores que reconozcan la voz de su propietario.
- Encriptación dentro de arquitecturas de clave pública (PKI: *Public Key Infrastructure*). En este ámbito, las técnicas biométricas complementan los complejos sistemas de seguridad informática sustituyendo la introducción de contraseñas. Las técnicas biométricas por sí solas no garantizan los objetivos de irrefutabilidad, autenticación e integridad, que son capaces de ofrecer estas arquitecturas; por ello, su empleo combinado ofrece una mayor simplicidad y todas las garantías de cumplimiento de estas arquitecturas de seguridad.



2.5. Aspectos legales y jurídicos

En un plazo aproximado de 10 años, la biometría dejará de sonar a ciencia ficción. La mayoría de los alumnos tendrán que atravesar un sistema de entrada biométrico en el colegio, sus padres arrancarán los coches gracias a un escáner que reconocerá su huella dactilar o su olor y los abuelos deberán identificarse a la puerta de las guarderías para poder recoger a sus nietos. El acceso a los hogares estará controlado por un escáner de iris, posiblemente integrado en un dispositivo que acumulará toda la información técnica sobre la casa. Los sistemas de reconocimiento facial se usarán para acceder a transportes públicos y cruzar fronteras. También los pagos a través de Internet serán más seguros, nadie podrá utilizar una tarjeta de crédito ajena y problemas tan serios como el intercambio de bebés al nacer en los hospitales serán cosa del pasado.

Pero, ¿qué costo se está dispuesto a pagar para lograr tan alta seguridad? Si un sistema biométrico proporciona una prueba irrefutable de la identidad de un individuo, ¿podría utilizarse para rastrear a cualquier sujeto sobrepasando su derecho a la privacidad y el anonimato? ¿Cómo puede estar seguro un usuario de que el sistema biométrico será empleado exclusivamente con los fines previstos? Diversos organismos, entre ellos la Unión Europea, se han hecho estas mismas preguntas. Y han llegado a la conclusión de que es fundamental alcanzar un compromiso entre seguridad y privacidad.

Por un lado, se considera fundamental crear un marco legal estricto y un sistema de estrecha vigilancia que garantice que los objetivos originales de identificación y verificación no se amplíen para permitir rastrear a los ciudadanos o utilizar un control biométrico, que podría incluso ser destinado a generar perfiles del carácter o del comportamiento de las personas, afectando negativamente las libertades y dando lugar a desigualdades sociales. La biometría sólo se utiliza para reconocer a las personas, y el problema que puede aparecer es el uso que terceras personas puedan darle a esa información. Por todo ello, es importante la protección de esos datos tanto a nivel público como privado.

Por otra parte, es necesario reconocer las limitaciones de la biometría. Aunque el principal motivo para desarrollar los sistemas biométricos es aumentar la seguridad, la identificación no tiene un 100% de efectividad y es



susceptible de errores. Además, existe al menos un 5% de la población que, por minusvalías de diferentes tipos, no puede ser identificada por la huella o el iris.

El consentimiento para la correcta implantación y uso de estos sistemas debe tener como características principales: el ser libre, específico e informado. De este modo, los datos personales obtenidos deben estar protegidos ante:

- accesos no autorizados
- la fiabilidad del sistema
- la obtención de otros datos a partir de la biometría

Únicamente debe ser empleada esta información sin consentimiento en el caso de que exista un contrato administrativo en el que así conste.

Sea como fuere, nada podrá resistirse al avance imparable de la biometría. Como en toda nueva tecnología, los posibles inconvenientes derivados de su uso deberán evitarse con unas herramientas de control adecuadas.



Capítulo 3:

Identificación biométrica mediante iris ocular

De las diferentes técnicas biométricas comentadas en el capítulo anterior, este capítulo se centra en el estudio de la biometría del iris al ser esta la que se emplea como técnica de reconocimiento dentro del sistema de identificación objeto de este proyecto.

En primer lugar se estudiará la anatomía de órgano ocular detallando todas y cada una de las partes que lo forman.

A continuación se analizará más concretamente el iris ocular y las características del mismo explicando las razones por la cuales este es tan útil y valioso en la identificación de personas.

Luego se comentarán brevemente los orígenes y la evolución de la técnica de reconocimiento de iris.

Por último se describirán todas y cada una de las etapas de las que consta un sistema de identificación biométrica basada en el reconocimiento de iris, junto con algunas de las técnicas empleadas para su desarrollo y sus principales ámbitos de aplicación.

3.1. Anatomía del ojo

Al contemplar los ojos de alguien, pueden observarse fácilmente una serie de estructuras bien diferenciadas, tal y como puede comprobarse en la Figura 3.1:

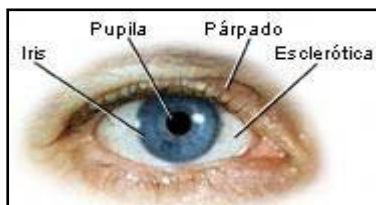


Figura 3.1. Ojo humano [Umm01].

- Una porción central de color negro, la pupila, que no es más que un agujero que permite la entrada de luz al globo ocular. Su color negro se debe a los pigmentos retinianos.
- Una membrana coloreada y de forma circular, el iris. Su coloración representa lo que se conoce habitualmente como "color de los ojos" y su apertura central es como ya se ha mencionado la pupila. Esta membrana presenta un músculo de disposición circular que permite modificar el tamaño de la pupila.
- Un epitelio transparente, la córnea, que cubre tanto al iris como a la pupila. Esta es la primera y más poderosa lente del globo ocular y permite, junto con el cristalino, la producción de una imagen nítida de visión.
- El "blanco del ojo", la esclerótica, que forma parte de los tejidos de soporte del globo ocular. La esclerótica se continúa con la córnea por delante y con la duramadre del nervio óptico por su parte posterior. Posee función de protección y en su zona exterior está recubierta por una mucosa transparente llamada conjuntiva.

Si se examina el órgano ocular fuera de las cavidades orbitarias, se observa que éste es una esfera ligeramente asimétrica, como puede comprobarse en la figura siguiente, y que posee un diámetro sagital o longitud de 24-25 mm y un diámetro transversal de 24 mm. Su volumen es de unos 6.5 cc.

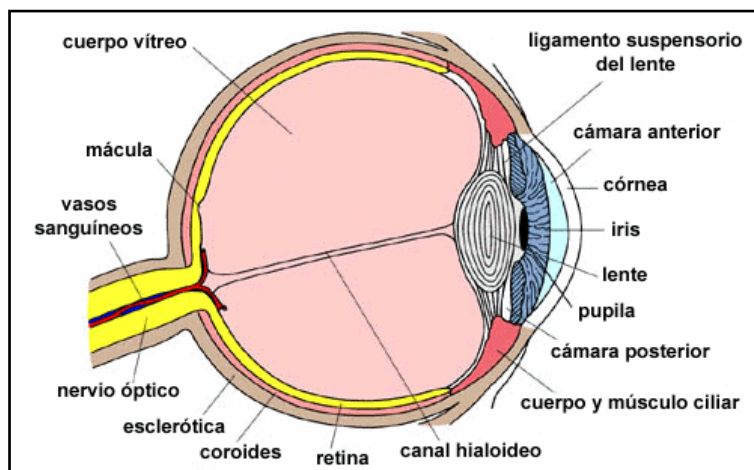


Figura 3.2. Sección transversal del ojo humano [UHC01].

Una visión transversal del globo ocular es la que se muestra en la Figura 3.2. Este consta de los siguientes elementos:

- Tres capas diferentes:
 - *Externa*: formada por la esclerótica y la córnea.
 - *Intermedia*: dividida en dos partes, una anterior (iris y cuerpo ciliar) y una posterior (coroides).

El iris posee como funcionalidad el regular la cantidad de luz que entra en el interior del ojo, para lo cual varía su tamaño según la intensidad de luz a la que se vea sometido el ojo.

El cuerpo ciliar se encarga de la secreción del líquido que rellena la cámara anterior, más conocido como humor acuoso; mientras que el músculo ciliar varía la curvatura del cristalino para poder enfocar a distintas distancias.

Y por último, la coroides tiene una función tanto nutritiva como de pantalla pigmentaria, para así evitar que entre luz en el ojo por donde no debe.

- *Interna* o porción sensorial del ojo: constituida por la retina. En esta zona es donde se forman las imágenes para que puedan ser vistas con nitidez. Su parte anterior es ciega, y su sensibilidad va en aumento conforme se va alejando de la zona anterior. El punto de máxima sensibilidad es una pequeña hendidura llamada fovea, que es donde se encuentra una mayor concentración de las células responsables de la sensibilidad de la



retina: conos y bastones. En la zona posterior hay una parte ciega, que es donde conecta el nervio óptico y se llama papila.

- Tres cámaras rellenas de líquidos:
 - *Cámara anterior*: localizada entre la córnea y el iris.
 - *Cámara posterior*: la cual aparece entre el iris, los ligamentos que sujetan el cristalino y el propio cristalino.
 - *Cámara vítrea*: situada entre el cristalino y la retina.

Las dos primeras cámaras están rellenas con humor acuoso, mientras que la cámara vítrea está rellena con un fluido más viscoso y denominado humor vítreo. Esta sección sagital también muestra el cristalino, que es un cuerpo transparente situado por detrás del iris y que se encuentra suspendido dentro del globo ocular gracias a sus ligamentos suspensorios que se unen a la porción anterior del cuerpo ciliar. La contracción o relajación de estos ligamentos, como consecuencia de la acción de los músculos filiares, cambia la forma del cristalino. Este proceso se conoce como acomodación y permite que las imágenes se puedan enfocar a nivel de la retina.

Cada globo ocular se mantiene en su posición dentro de las órbitas gracias a la existencia de los ligamentos y músculos que los rodean. Insertados a nivel de la esclerótica existen tres pares de músculos, dos pares de músculos rectos y un par de músculos oblicuos, que permiten la movilidad del globo ocular. Estos músculos se conocen como músculos extraoculares. Los movimientos del globo ocular permiten enfocar siempre las imágenes a nivel de la fovea.

3.2. Potencialidad del iris para la identificación biométrica

El iris, tal y como se muestran en las Figuras 3.3 y 3.4, es el aro de color que se encuentra rodeando a la pupila. Es una estructura muscular que controla la cantidad de luz que entra en el ojo variando rápidamente su tamaño, y que posee complicados detalles como pueden ser estrías, hoyos y surcos. El iris no debe ser confundido con la retina, la cual se encuentra en el interior de la parte posterior del ojo protegido del exterior por la córnea.

El iris está constituido por las siguientes partes:

- *Epitelio anterior*.
- *Estroma del iris*: constituido por tejido conjuntivo laxo con células musculares lisas que forman un anillo muscular alrededor de la pupila, esfínter pupilar, y por células musculares que constituyen el músculo dilatador de la pupila.
- *Membrana de Bruch*: actúa como membrana dilatadora del iris.
- *Epitelio posterior*: pertenece a la retina.

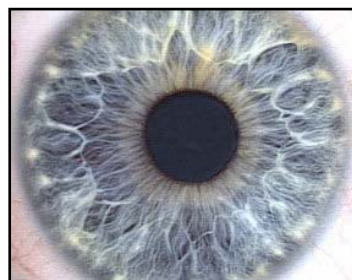


Figura 3.3. Iris ocular [UaB01].

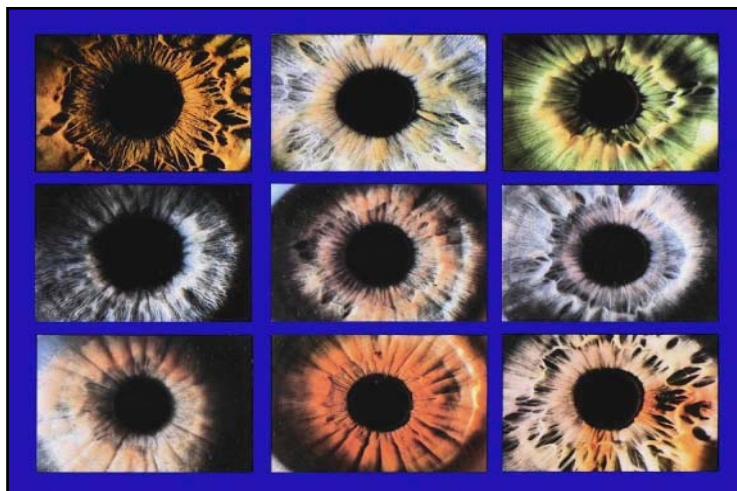


Figura 3.4. Conjunto de iris oculares con diferentes estructuras y tonalidades [UaB01].

Sin embargo, no por poseer esta estructura tan peculiar, el iris resulta ser un tejido tan útil e importante en el ámbito de la biometría. Su gran potencialidad aparece en el hecho de estar protegido de agentes externos gracias a la capa transparente que fluye en su parte posterior y que se conoce como córnea (tal y como ya se ha indicado anteriormente), que, además de proteger, permite hacerlo visible desde el exterior. Además de ésta, presenta otras características que se detallan a continuación, que le confieren un gran potencial para su aplicación en los sistemas biométricos:

- El patrón del iris se mantiene sin cambios, es decir, es estable a lo largo del tiempo, desde aproximadamente los dieciocho meses de edad y no se degrada con el tiempo o con el ambiente gracias a la protección que le confiere la córnea. Por lo tanto, el patrón que se almacenó inicialmente puede ser utilizado durante toda la vida.
- Presencia de pequeñas variaciones en su tamaño tanto con cambios en la luminosidad como cuando se ve sometido a una iluminación fija, lo cual permite que sea un sencillo mecanismo para la detección de “sujeto vivo”. Esto hace que ofrezca gran dificultad a la hora de posibles falsificaciones.
- Los patrones del iris son más complejos y aleatorios que otros patrones biométricos, lo cual ofrece un método de alta precisión para la autenticación individual de cada uno de los usuarios con una tasa de error por falsa aceptación inferior a uno sobre 1.2 millones [LgI03].



- Permite que la captura de datos del individuo se realice de una manera no invasiva y sencilla puesto que el iris es completamente visible desde el exterior.
- Su intento de falsificación implicaría la necesidad de realizar intervenciones quirúrgicas que podría dañar seriamente la capacidad de visión del sujeto.
- Sus patrones no están determinados genéticamente, por lo que incluso el ojo izquierdo y el derecho de un mismo individuo son diferentes. Incluso, según indican determinados estudios [Dau93], ni los hermanos gemelos poseen patrones de iris similares.

La cantidad de información que puede ser medida en el iris es significativamente mayor que la que puede obtenerse de las huellas dactilares. Y aunque su precisión es menor que la que presenta el ADN, la identificación del iris se considera un método rápido y preciso.

El reconocimiento del iris emplea las diferencias individuales encontradas en las texturas de los ojos para realizar la autenticación o identificación de cada individuo. Es el sistema de identificación biométrica que presenta mayor precisión, puesto que la tasa de falsa aceptación es tan baja que la probabilidad de que ésta ocurra resulta virtualmente nula.

Las bajas tasas de rechazo y aceptación necesarias para que un sistema de reconocimiento sea considerado fiable, requieren una inmensa cantidad de datos estables, precisos y accesibles. Por todo ello, las características inherentes en la estructura interna del iris, hacen que éste contenga una cantidad masiva de detalles de información críticas para la identificación.



3.3. Nacimiento y evolución de la técnica de reconocimiento de iris

El primero en sugerir el empleo de los patrones de iris para la identificación personal fue el oftalmólogo Frank Burch, que lo expuso ante sus colegas en el congreso anual de la Academia Americana de Oftalmología de 1936. Medio siglo después, dos compañeros de profesión, Aran Safir y Leonard Flom, patentaron la idea. Y en 1989 ambos pidieron ayuda a un profesor de la Universidad de Harvard, John Daugman, para crear los algoritmos necesarios para el reconocimiento de iris que permitieran llevarlo a la práctica.

Un año después, Daugman había desarrollado un método para convertir la imagen de cualquier iris en un código numérico. El procedimiento, base de los dispositivos actuales, resulta extraordinariamente sencillo. Basta con colocarse frente a una cámara, con los ojos correctamente alineados en su campo de visión. La cámara genera una imagen que es analizada por medio de los algoritmos de Daugman para obtener el IrisCode® personal, un patrón único del iris que apenas ocupa 256 bytes de información. Tan reducido tamaño permite una rápida búsqueda de su homólogo en una base de datos hasta identificar a su propietario.

3.4. Fases del sistema de identificación

Tal y como se vio en el capítulo anterior y como se pueden ver en la Figura 3.5, las principales etapas de un sistema de este tipo son:

- captura de los datos
- preprocesado de dichos datos
- extracción de características
- verificación o comparación del vector de características formado con el patrón almacenado previamente.

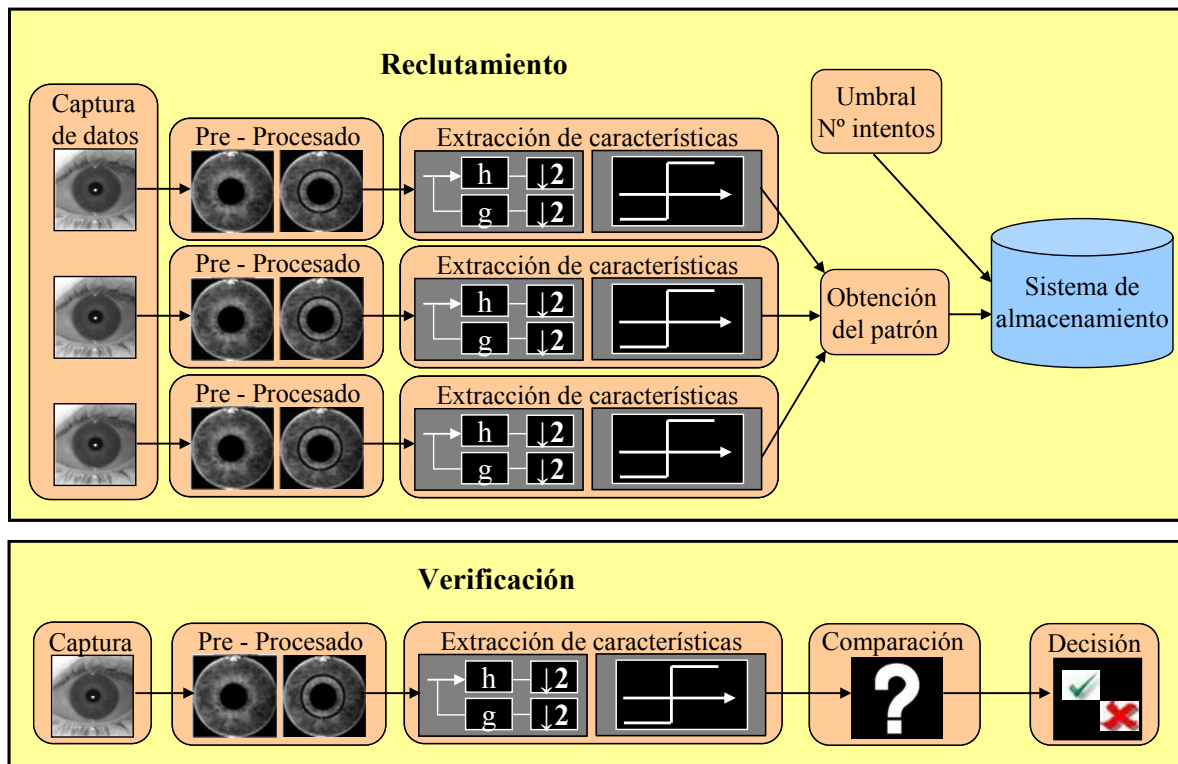


Figura 3.5. Etapas de un sistema de identificación biométrica por iris [Fer06].

A continuación se tratarán todas estas etapas en detalle, analizando las diferentes técnicas existentes para cada una de ellas.



3.4.1. Captura de la imagen

Como ya se comentó en la descripción de la anatomía del ojo, el hecho de que el iris sea visible desde el exterior, permite que la captura de su imagen se pueda realizar mediante el empleo de cámaras fotográficas digitales o de vídeo. La técnica más utilizada para la captura de la imagen es iluminar con luz infrarroja, ya que ésta no resulta molesta para el usuario al estar fuera del rango visible.

Para plantear el sistema de captura adecuado, es necesario tener en cuenta que:

- Se necesita conseguir una imagen de alta calidad y con una elevada resolución, de modo que permita su posterior reconocimiento, así como que posea un buen contraste teniendo en cuenta la sensibilidad del ojo humano ante la luz.
- Para un mejor aprovechamiento de la resolución, la imagen debe contener únicamente el ojo del individuo.
- El sujeto debe colocarse a una distancia suficiente del dispositivo de captura, de modo que no se vea intimidado por su cercanía ni por su funcionamiento. Además hay que considerar que, aunque se tome la imagen a cierta distancia, ésta no se debe deformar.

Los sistemas de captura empleados por diferentes precursores de esta técnica biométrica y que se muestran en la Figura 3.6, fueron los siguientes:

- El sistema de Daugman [Dau04] captura una imagen del iris haciendo uso de 100 a 200 píxeles y a una distancia comprendida en el rango de 15 a 46 cm. Para ello se emplean lentes de 330 mm.

Tal y como puede verse en el esquema que se adjunta en la Figura 3.6. (a), emplea un LED como fuente luminosa junto con un sistema de video-cámara. Se trata de un esquema simple y compacto, donde se pueden evitar las reflexiones que producen las gafas en la imagen capturada, si la fuente de luz se coloca en una posición adecuada. Debe tenerse en cuenta que la zona de la imagen donde se observa la fuente de luz no debe incluirse a la hora de realizar las comparaciones entre las muestras.

- El método propuesto por Wildes [Wil97] captura las imágenes en 256 píxeles a 20 cm de distancia empleando lentes de 80 mm. Para ello, emplea un sistema algo más complejo que el anterior, pero que permite hacer desaparecer por completo las reflexiones gracias al empleo de dos polarizadores circulares. Además, al acoplar la cámara con un difusor de luz, tal y como puede observarse en la figura, se obtienen unos niveles de luminosidad nada incómodos para el ojo humano.

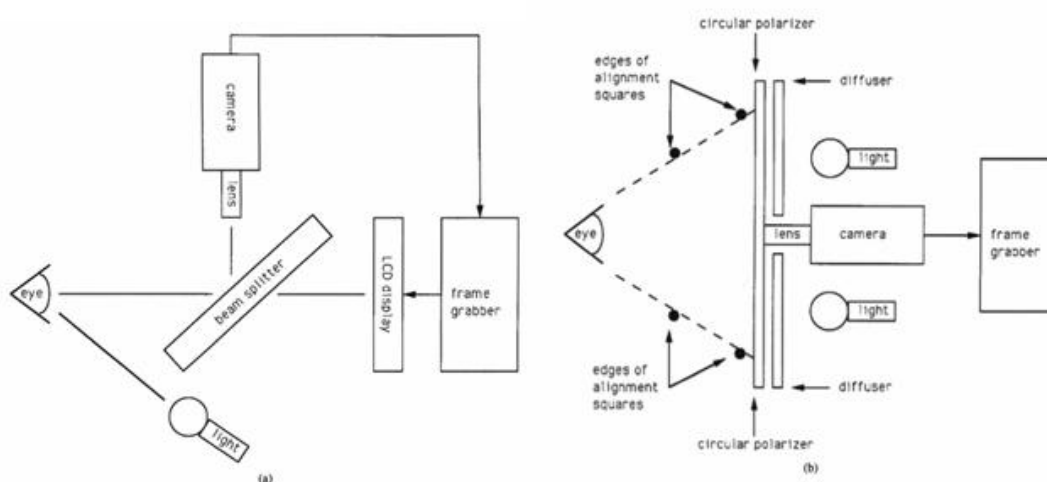


Figura 3.6. Sistemas propuestos por Daugman (a) [Dau04] y Wildes (b) [Wil97].

Los sistemas comerciales existentes han desarrollado métodos de captura cada vez más sofisticados. Algunos de estos sistemas se muestran en la Figura 3.7, donde el más complejo es el propuesto por NCR en sus equipos destinados para cajeros automáticos, y que consta de una triple cámara: dos de ellas para la localización del ojo dentro de la imagen y otra encargada de llevar a cabo la captura. Otros de los sistemas mostrados son destinados a controles de acceso convencionales y para la identificación de usuarios en PCs.



Figura 3.7. Sistemas comerciales para la captura de iris:
Sensar: sistema para cajeros automáticos (a) y para PCs (b) y (c);
IrisScan: sistema para PC (d) y para control de accesos (e) [San00].

Hay que tener en cuenta que el entorno de captura, resulta tan importante como la elección del dispositivo a emplear. La iluminación que debe recibir el ojo durante este proceso, debe ser tal que se eviten en gran medida los posibles reflejos. Éstos pueden aparecer con facilidad ya que al tratarse la córnea de una superficie lisa y lubricada, todo rayo que le llega, es reflejado. Para intentar solventar este problema, algunas de las propuestas planteadas en [Dau93] y [Wil97] se basan en la utilización de un foco localizado y polarizado. Si este foco se coloca debajo de la cámara, iluminando de abajo hacia arriba, se provocará un reflejo en el cono inferior del ojo. Pero este reflejo será eliminado mediante un polarizador en cuadratura con el emisor de luz y colocado en el objetivo de la cámara.

La velocidad de obturación de la cámara, así como la apertura del diafragma, son parámetros a tener muy en cuenta, ya que debido a la velocidad de movimiento del iris, pueden llegar a obtenerse imágenes borrosas si no poseen valores adecuados.

La detección de fraude, en caso de mostrar ante la cámara una foto o un ojo de plástico, se realiza sin dificultad, si se toman dos fotogramas consecutivos y se compara posteriormente la dilatación de la pupila. Esta apertura debe ser diferente en ambas, ya que debido a la anatomía del ojo, ésta varía rápidamente aún cuando se somete al ojo a una iluminación constante.

Una imagen lista para su preprocesado es la que se muestra a continuación (Figura 3.8):

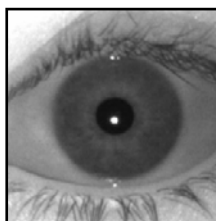


Figura 3.8. Captura del iris.

3.4.2. Preprocesado del iris

Esta etapa se encarga de adaptar la imagen a las necesidades que requiere el bloque de extracción de características, para que la aplicación de los algoritmos necesarios sea más rápida y sencilla. Por tanto, el preprocesado debe:

- Localizar el iris dentro de la imagen tomada en la fase de captura.
- Obtener la firma del iris sobre la cual se aplicarán los algoritmos necesarios de extracción de características en la etapa posterior del sistema.

En este apartado se describirá el proceso seguido desde la captura de la imagen hasta conseguir calcular la firma correspondiente.

Para conseguir detectar el iris del usuario en la imagen adquirida en la etapa anterior, se siguen los siguientes pasos:

- Detectar los bordes del iris, tanto el borde interno (limita con la pupila) como el externo (linda con la esclerótica).
- Eliminar aquellas partes no deseadas o inútiles para la extracción de características.
- Compensar el tamaño del iris, ya que es posible que no todos los usuarios se encuentren a una misma distancia ni posean el mismo tamaño de pupila a la hora de adquirir la imagen. De este modo, todos los iris empleados en los bloques siguientes poseerán un mismo tamaño.



Antes de proceder a la detección de ambos bordes del iris, la primera acción del preprocesado es la transformación de la imagen capturada en una nueva imagen en blanco y negro, así como de una ecualización del histograma [Jai89] que permita obtener una imagen con mayor contraste. Tras este paso se procederá a la detección de los bordes del iris, lo cual se consigue mediante la aplicación de un algoritmo de búsqueda iterativo a través de una circunferencia. Este algoritmo finaliza al encontrar el valor máximo del gradiente de intensidad. A continuación se expone con más detalle los pasos seguidos en esta búsqueda.

3.4.2.1. Búsqueda del borde externo del iris

Gracias al gran contraste de color existente entre la esclerótica y el iris, se procede en primer lugar a detectar este borde. Los principales pasos de este proceso son:

- Remuestreo o reducción de la calidad de la imagen para así realizar una primera búsqueda más gruesa del borde, teniendo para dicha búsqueda una imagen con menos información, lo cual permite reducir el coste computacional.
- Se divide el ojo en cuatro cuadrantes, de los cuales el superior e inferior son eliminados, ya que son éstos los que pueden verse afectados por el solapamiento de los párpados. Este efecto puede darse en aquellos casos en los que el individuo no haya abierto los ojos adecuadamente en el proceso de captura de imagen. La eliminación de dichos cuadrantes permite nuevamente, el tener que trabajar con una menor cantidad de información a la hora de la detección de los bordes. En la Figura 3.9 se ilustran dos casos en los que puede observarse el efecto de los párpados en los cuadrantes superior e inferior.

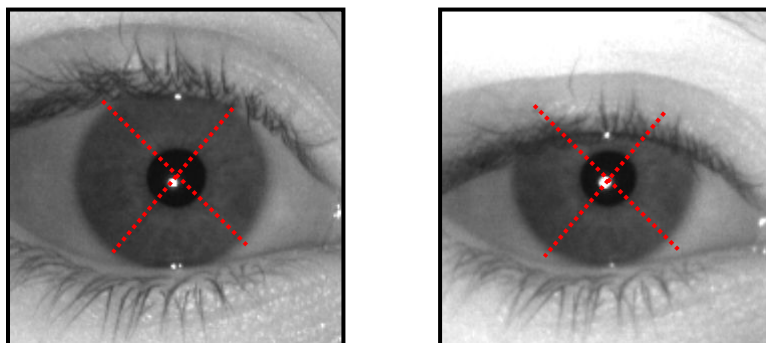


Figura 3.9. Ejemplos de solapamiento de los párpados.

- Para facilitar la detección del contorno externo del iris, se superpone al iris una cuadrícula virtual que permita localizar más fácilmente el centro. A partir de este punto, se va buscando entre un determinado rango de valores de radio, el punto que presenta un mayor contraste. A medida que el contraste aumenta, la frontera entre la esclerótica y el iris se encuentra más próxima.
- Una vez localizado, a grosso modo, el punto central del iris y el valor del radio que definen la circunferencia de mayor contraste, se vuelve a aplicar el algoritmo de búsqueda de máximo gradiente de intensidad. Sin embargo, esta vez únicamente se aplica sobre los puntos cercanos a esta circunferencia, para así conseguir una definición del borde exterior más precisa. El resultado de aplicar este procedimiento se muestra en la Figura 3.10.

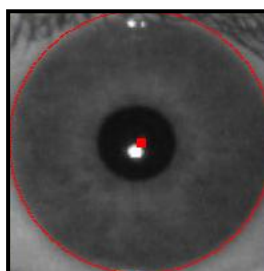


Figura 3.10. Localización del contorno externo del iris.

- A los valores de radio y centro obtenidos, se le aplican las transformaciones necesarias para que sean coherentes con la imagen original. Esta imagen se recorta de modo que ahora se trate de un cuadrado, en cuyo interior se alberga el iris. Con esto se consigue eliminar de la imagen todos aquellos puntos que no pertenecen al iris

y que por tanto, resultan irrelevantes a la hora de construir el vector de características.

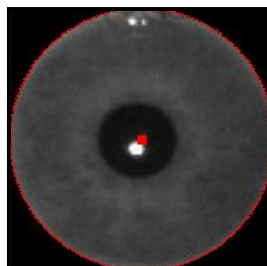


Figura 3.11. Eliminación de puntos irrelevantes al borde externo.

Una vez obtenidos los valores del centro y del radio de la circunferencia que definirá el borde externo del iris ocular, se procederá a detectar la circunferencia correspondiente al contorno interno.

3.4.2.2. Búsqueda del borde interno del iris

Para esta nueva búsqueda, primeramente se realiza una nueva transformación del histograma que permita aprovechar todo el rango de intensidad del iris, de manera que, aunque el iris sea oscuro, al igual que la pupila, esta nueva frontera resulte más sencilla de localizar.

En un primer momento se podría pensar en el empleo del valor de centro de la circunferencia hallado en la fase anterior, ya que a simple vista la pupila y el iris parecen concéntricos. Sin embargo, esto no es cierto, y por tanto, es necesario localizar un nuevo centro con su radio correspondiente, para así lograr obtener la posición de este borde entre pupila e iris.

El mecanismo empleado para esta búsqueda es muy similar al seguido para el borde externo, con la salvedad de que en este caso el contorno se encuentra en una única iteración, es decir sin realizar un ajuste grueso y posteriormente, uno más fino. Además también es importante destacar, que ahora se trabaja con la imagen a tamaño natural, puesto que es necesario localizar un contorno de tamaño reducido. Para ello es imprescindible disponer de una gran resolución y cuyo coste computacional es menor, puesto que la búsqueda se debe realizar sobre una franja de tamaño inferior.

Se utilizará el mismo algoritmo que en la fase de búsqueda del borde externo, pero con la diferencia de que éste también se aplica sobre el cuadrante inferior, además de sobre los laterales. En este caso los cuadrantes superior e inferior no se ven afectados por los párpados, sin embargo el superior sí que puede verse perjudicado por interferencias con el flash de la cámara. Estas interferencias recaen generalmente sobre éste ya que el flash se coloca en la parte superior del dispositivo empleado para la captura.

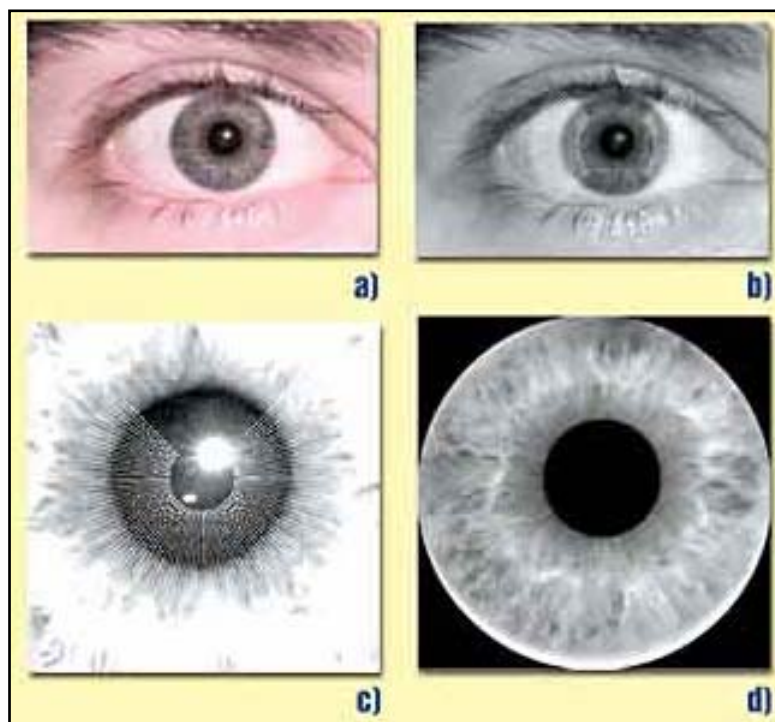


Figura 3.12. Fases del preprocesado: a) imagen original; b) imagen con los puntos muestreados y necesarios para la detección del borde externo; c) muestreo de puntos para la localización del borde interno; d) imagen del iris aislado [San00].

Al igual que para el caso anterior, con la obtención del centro y del radio, se traza una circunferencia (correspondiente con el borde interno estimado), y se eliminan todos los puntos de la imagen que se encuentren en el interior de dicho contorno. Tras realizar una nueva ecualización de la imagen, se obtiene el iris totalmente aislado de la imagen, tal y como puede observarse en la Figura 3.12.d, y más en detalle en la Figura 3.13.

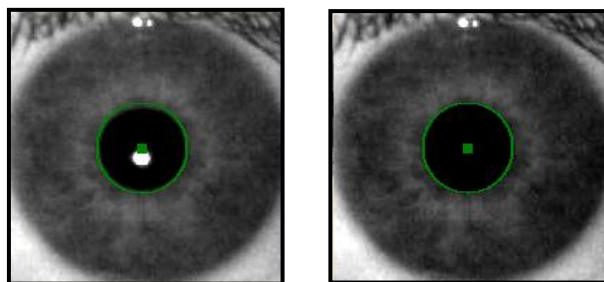


Figura 3.13. Localización y eliminación de puntos irrelevantes de la frontera interna del iris.

En la Figura 3.14 se han representado los centros de las circunferencias exterior e interior mediante un punto rojo y un punto verde, respectivamente. Como se puede apreciar, los centros de ambas circunferencias no coinciden ya que como se había mencionado, la pupila no es concéntrica con respecto a la frontera externa del iris.

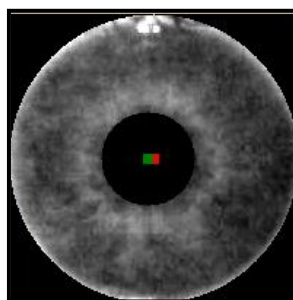


Figura 3.14. Fronteras externa e interna del iris.

3.4.2.3. Cálculo de la firma del iris

Los pasos seguidos para la obtención de la firma (*IS: Iris Signature*) a partir de la información conseguida tras la localización del iris, dependerán de la técnica elegida para la extracción de características. En este caso, se van a abordar tres técnicas completamente diferentes: una basada en los filtros de Gabor y las otras dos basadas en la aplicación de transformadas de tipo Wavelet. En este último caso se empleará para la obtención de la firma los valores de una circunferencia o de una corona circular alrededor de la pupila del ojo.

Cálculo de la firma del iris

La firma se obtiene para conseguir una mayor simplificación de esta técnica en el bloque de extracción de características, así como para normalizar las posibles variaciones de tamaño que puedan existir en el iris y en la pupila. Estas simplificaciones consisten en suprimir los sectores inferior y superior del iris, de modo que únicamente se trabaja con los dos cuadrantes laterales.

Además para una mayor simplificación en los datos sobre los que se aplican los filtros de Gabor, se realiza un muestreo en radio y ángulo, pasando así de un sistema de coordenadas radial a uno ortogonal, mucho más manejable. Esta transformación permite trabajar con una matriz de niveles de grises en lugar de con porciones de coronas circulares. Este proceso puede verse de un modo más simple en la Figura 3.15, donde se muestra la transformación de los cuadrantes laterales a sendas matrices cuadradas, cuyas columnas representan fracciones de radio y sus filas variaciones de ángulos.

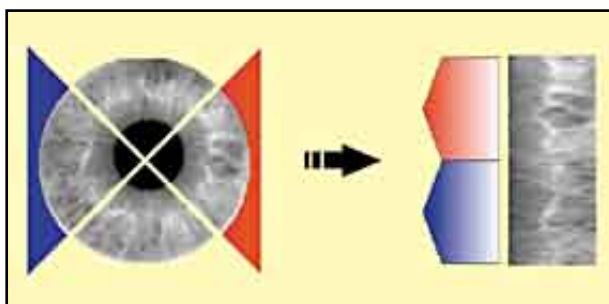


Figura 3.15. Transformación del iris para la extracción de características [San00].

Es importante destacar, que las transformaciones mencionadas anteriormente, se realizan siempre en función de la distancia existente entre los bordes interior y exterior del iris, y que por tanto, la matriz obtenida poseerá unas dimensiones fijas, a pesar del tamaño del iris del que se haya partido. Esto facilita en gran medida la aplicación de los algoritmos de extracción, puesto que estos siempre se aplican sobre matrices de un tamaño fijo.

Firma para la Transformada Wavelet

Dentro de esta técnica, se pueden encontrar dos variantes diferentes, una de ellas basada en el procesamiento de una única circunferencia y otra que emplea una corona circular para la obtención de la firma. Sobre los valores de esta firma se aplicará la transformada Wavelet para la construcción del vector de características del sujeto.

- **Extracción por circunferencia:** Primeramente debe obtenerse una señal unidimensional sobre la cual se aplicará posteriormente la transformada y que será lo que se denomina firma del iris. Esta señal es un vector que contiene la información de la imagen del iris aislado que se necesita para la correcta extracción de características del sujeto. Al trabajar con señales unidimensionales el coste computacional y el tiempo de ejecución se ven reducidos en comparación con los empleados en la técnica de filtros de Gabor.

La circunferencia, sobre la cual se trabaja, se construye a partir del punto central de la pupila, es decir a partir del centro que se ha obtenido al localizar el borde interno del iris, y a una distancia de $\frac{1}{4}$ del borde interno y de $\frac{3}{4}$ del borde externo del iris aislado, como se indica en la Figura 3.16.

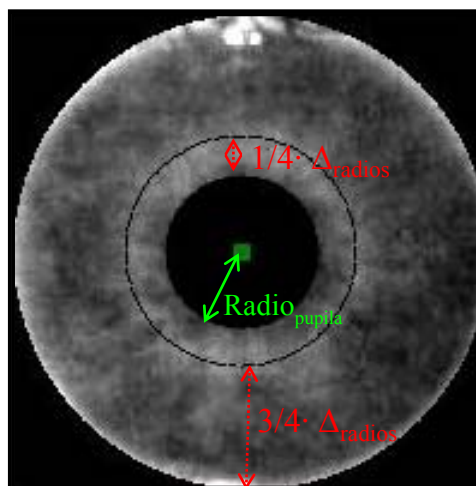


Figura 3.16. Posición de la circunferencia de la firma.

El vector se forma a partir del muestreo de 256 valores a lo largo de la circunferencia. Cada uno de estos valores representa la intensidad de la imagen codificada en un byte (dentro del rango de 0 a 255), puesto que ésta es la escala en la que se miden las diferentes tonalidades de grises que puede presentar la luminosidad del iris. Los valores de la circunferencia que componen esta firma se representan en la Figura 3.17 (c), para la captura y el iris mostradas en las imágenes que se encuentran encima de ésta.

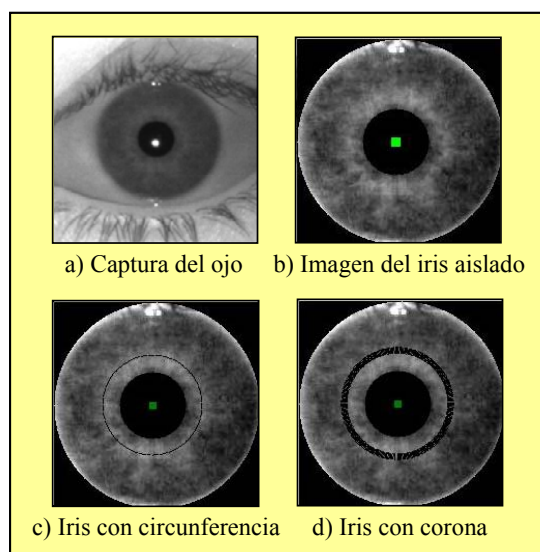


Figura 3.17. Imágenes de las diferentes fases de la extracción de características [Fer06].

- **Extracción por corona circular:** El procedimiento seguido en este caso es similar al que se ha comentado anteriormente para el caso de la circunferencia. Hay que tener en cuenta que en esta ocasión, la firma del iris contiene información de una corona circular, en lugar de únicamente los valores procedentes de una circunferencia.

La corona circular (que puede observarse en la Figura 3.17 (d)) se calcula, del mismo modo que en el caso anterior, a partir del centro de la pupila. El rango radial en el que se encuentra la corona es de $1/3$ y $1/4$ de distancia del contorno interno del iris. A partir de los valores que constituyen esta corona, se construye la firma del iris mediante la media aritmética de los valores de grises de todas las circunferencias virtuales presentes dentro de dicha corona. Es decir, en este caso, la firma se resume en una media de los valores que presenten diversas circunferencias del iris muy próximas entre sí.

En la Figura 3.18 se pueden ver las firmas obtenidas aplicando la Transformada Wavelet para los métodos anteriormente comentados.

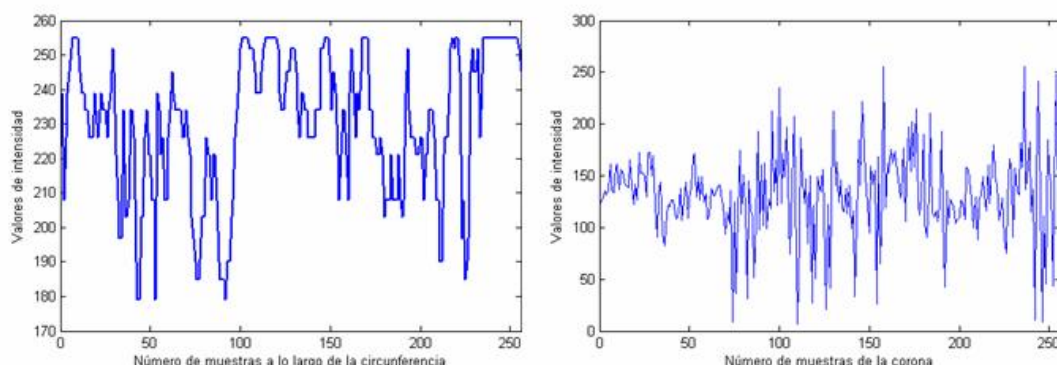


Figura 3.18. Representación de los valores de la firma del iris para el método de la circunferencia (a) y de la corona (b).

3.4.3. Extracción de características

Los pasos seguidos para la obtención del vector de características a partir de la información conseguida tras la fase de pre-procesado, dependerá del algoritmo matemático elegido. En este caso, se van a abordar dos técnicas completamente diferentes: una basada en los filtros de Gabor y otra basada en la aplicación de transformadas de tipo Wavelet.

3.4.3.1. Extracción mediante filtros de Gabor

El algoritmo empleado por esta técnica de extracción, fue propuesto por Daugman [Dau04]. Hace uso de los filtros de Gabor [Tap05], definidos por la siguiente expresión matemática:

$$g(x, y, \varphi_k, \lambda) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(x \cos \varphi_k + y \sin \varphi_k)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(-x \sin \varphi_k + y \cos \varphi_k)^2}{\sigma_y^2} \right] \right\} \cdot \exp \left[\frac{2\pi(x \cos \varphi_k + y \sin \varphi_k)}{\lambda} \right]$$

donde φ_k es la orientación, λ es la escala y σ_x y σ_y son los parámetros de dispersión de la envolvente para las coordenadas x e y , respectivamente.

Además surge la posibilidad de, en lugar de emplear el filtrado, ponderar segmentos de la imagen por los valores de dichos filtros. Por tener la parte imaginaria de dichos filtros media nula, resultan por tanto los siguientes coeficientes:

$$c(i,j) = \sum_{x=-1}^N \sum_{y=-1}^M J\left(i+x-\frac{N}{2}, j+y-\frac{M}{2}\right) \cdot \text{Im}[g(x,y,\varphi_k,\lambda)]$$

donde (i,j) son puntos de la imagen J (matriz obtenida a partir de los cuadrantes laterales de la imagen del iris aislado) para la obtención de los coeficientes, y $N \times M$ es el tamaño del filtro g .

De este modo, la matriz con los valores de la intensidad de la imagen se divide en determinadas secciones, las cuales pueden o no estar solapadas, y donde cada una de ellas se multiplica por el filtro g obteniendo así un coeficiente. Se pueden obtener coeficientes para todas las orientaciones y escalas deseadas, teniendo en cuenta que el número de escalas, orientaciones y secciones define el tamaño que poseerá el vector de características, así como la fiabilidad de los coeficientes resultantes de la aplicación de los filtros de Gabor.

La obtención del vector finaliza con la discriminación de los coeficientes entre positivos (o nulos) y negativos, asignando para cada uno de estos grupos un valor de '1' o '0', respectivamente.

3.4.3.2. Extracción mediante Transformada Wavelet

Una vez obtenida la firma del iris por alguno de los métodos descritos en el apartado anterior, es necesario aplicar un algoritmo, que permita construir el vector característico necesario para la identificación biométrica a partir de la información contenida en dicha firma. En este caso, este algoritmo es el basado en la representación multiescala de cruces por cero de la transformada Wavelet diádica discreta (DDWT) de la firma del iris [Mal91].

La importancia de este algoritmo reside en que este análisis multiescala resulta extremadamente útil cuando la información a analizar aparece en diferentes escalas, y por tanto, resulta conveniente organizar esta información en un conjunto de "componentes de detalle". Esto permite obtener la posición de los puntos correspondientes con variaciones rápidas de la señal, partiendo de los cruces por cero del análisis multiescala de la señal convolucionada con la laplaciana de una gaussiana [Mal99].

Es necesario comprobar si realmente estos cruces por cero ofrecen una representación completa y estable de la señal original, es decir de la señal obtenida en el preprocesado de la imagen capturada por la cámara. Por este motivo a continuación se describe esta representación particularizada para el caso de la firma del iris, puesto que este es el caso a estudiar en este apartado.

En general, dada una función $f \in L^2(\mathbb{R})$ y su transformada Wavelet diádica $\{W_2^j f(x)\}_{j \in \mathbb{Z}}$, para cualquier par de cruces por cero consecutivos de dicha transformada, cuyas abscisas se representan como z_{n-1} y z_n , se puede calcular el valor de su integral como:

$$e_n = \int_{z_{n-1}}^{z_n} W_2^j f(x) dx$$

Por tanto, la posición de los cruces por cero puede representarse a través de una función constante a trozos, tal y como se indica a continuación:

$$Z_2^j f(x) = \frac{e_n}{z_n - z_{n-1}} \quad x \in [z_{n-1}, z_n]$$

Para conseguir una representación completa y estable de la información contenida en la firma del iris, en lugar de considerar los cruces por cero de la transformada Wavelet en escalas continuas, se consideran los cruces por cero de la transformada Wavelet diádica discreta de dicha firma. Por tanto, se recurre únicamente a escalas diádicas, calculando así el valor de dicha transformada entre dos cruces por cero consecutivos.

En realidad, la señal de entrada, es decir la firma del iris, ha sido medida con una resolución finita. Esto impone la escala más fina a emplear en el cálculo de la transformada DDWT, y además, no será posible calcular esta transformada en todas las escalas 2^j . Por tanto, esto impone dos limitaciones: la dada por la escala más precisa y la que presenta la escala con menor precisión, lo que a efectos de normalización se supone como escalas 1 y 2^J , respectivamente. Luego sólo es necesario calcular la transformada Wavelet diádica discreta de la firma de iris (*IS: Iris Signature*):

$$\{S_2^j(IS), (W_2^j(IS))_{1 \leq j \leq J}\}$$



donde $S_2^J(IS)$ representa la señal en el nivel más burdo y $(W_2^J(IS))_{1 \leq j \leq J}$ son las señales de detalle que no aparecen en la escala 2^J . Los cruces por cero se consideran como las estimaciones de los cambios de signo de sus muestras y sus posiciones se estiman con la interpolación lineal entre dos muestras de diferente signo.

De este modo, la firma posee N muestras diferentes de cero, y ya que existen como máximo $N \cdot \log(N)$ muestras en su representación wavelet discreta, el número de operaciones a realizar para la obtención de las posiciones de dichos cruces por cero es de $O(N \cdot \log(N))$. Como se está considerando la transformada Wavelet discreta, sólo se podrán calcular las posiciones de los cruces por cero que aparecen a lo largo de las escalas anteriormente mencionadas, es decir entre 1 y 2^J . Luego, se puede considerar como representación multiescala de cruces por cero de la firma del iris al conjunto de señales discretas:

$$(Z_2^j(IS))_{1 \leq j \leq J}$$

Es importante tener en cuenta, que la información contenida en los niveles de resolución más fina se encuentra fuertemente contaminada por el ruido que afecta al sistema y por los errores de cuantificación. Por ello, generalmente sólo se tienen en cuenta los niveles de resolución intermedios.

Por tanto, como conclusión de todo este análisis se puede considerar que la codificación mediante la transformada Wavelet descompone los datos de la firma del iris en varias componentes, donde cada una de ellas presenta una resolución diferente. Este hecho permite utilizar esta información como una representación significativa y selectiva del patrón del iris.

3.4.4. Etapa de verificación

Esta fase será común para las tres técnicas de extracción de características descritas anteriormente. La verificación se podría realizar utilizando diferentes métodos, sin embargo, debido a la gran sencillez y a los buenos resultados que ofrece el método de la distancia de Hamming, se opta por su elección para esta última etapa del proceso de identificación.



Esta distancia permitirá cuantificar el porcentaje de bits no coincidentes entre un par de representaciones de iris. Se obtiene fácilmente calculando la función lógica de OR exclusivo entre las muestras a comparar, ya que esta función toma valor '1' únicamente cuando ambos bits a comparar son iguales. Por tanto, cuanto menor sea el valor de la distancia, mayor será la coincidencia entre ambos patrones.

$$DH = \frac{\sum_{i=1}^N \text{XOR}(\text{vector}_1, \text{vector}_2)}{N}$$

donde N es el número de muestras del patrón o vector de características.

Las señales a comparar serán el patrón almacenado en la etapa de reclutamiento del usuario y el vector obtenido tras la verificación solicitada por el usuario el sistema.

El resultado que valida la comparación de ambos patrones no está predeterminado, ni posee un valor constante, ya que depende de las tasas de falsa aceptación y falso rechazo que se desee para cada una de las aplicaciones a desarrollar.



3.5. Aplicaciones actuales

Las aplicaciones a las que pueden destinarse este tipo de sistemas son prácticamente infinitas, y claramente cualquier sistema al que se le pueda aplicar un proceso de identificación, podrá utilizar un sistema biométrico basado en el reconocimiento del iris ocular.

Cada día son más las aplicaciones que emplean este tipo de técnicas para garantizar la seguridad de sus transacciones, controlar el acceso, utilización de dispositivos, etc. A continuación se indican algunas de sus aplicaciones más destacadas.

El elevado grado de precisión de los sistemas de reconocimiento de iris los ha convertido en potentes aliados de la banca y el comercio electrónico. En 1998 la ciudad inglesa de Swindon, estrenó el primer cajero automático provisto de una cámara que capta los ojos del usuario para determinar su identidad.

Esta misma tecnología ha empezado a irrumpir ahora en el ámbito profesional para garantizar la seguridad de las transacciones por Internet.

A escala gubernamental, la identificación del iris también está dando que hablar. En algunos países, como por ejemplo Gran Bretaña, se han modernizado los controles migratorios en aeropuertos usando estas tecnologías. El sistema *IRIS* (acrónimo anglosajón de *Iris Recognition Immigration System*), desarrollado por la firma francesa Sagem, se encarga de almacenar y verificar los patrones del iris de grupos de viajeros específicamente seleccionados, confirmando su identidad cuando intentan entrar en el país. Se espera que en cinco años aproximadamente los dispositivos alberguen la estructura del iris de más de un millón de personas.

Las plataformas para el reconocimiento de iris ya han sido instaladas en áreas de transporte como por ejemplo en los aeropuertos de Schiphol (Amsterdam), Heathrow (Londres), Kennedy (Nueva York), Frankfurt (Alemania), Vancouver (Canadá) y Atenas (Grecia), donde hay que destacar que la lista de instalaciones que disponen de estos sistemas crece muy rápidamente.



También hay que tener en cuenta que hay determinadas zonas de los aeropuertos y otros centros de transporte donde el control de acceso resulta imprescindible, incluyendo las pistas, áreas no públicas y la zona de embarque. Esta tecnología además permite identificar a la tripulación de vuelo y personal de la línea aérea y garantizar su acceso a las áreas correspondientes.

El futuro verá incrementado el número de clientes inscritos a programas conocidos como *"trusted traveler"*. La supervisión de embarque permitirá que los viajeros conocidos adquieran unos credenciales de identificación que faciliten sus movimientos por el aeropuerto y permita que los oficiales de aduanas se puedan centrar en localizar viajeros desconocidos o poco habituales, lo cual favorece el incremento de la productividad y asegure determinados niveles de control del aeropuerto, personal y de las propias naves aéreas.

También a nivel gubernamental, las naciones de todo el mundo luchan para evitar la inmigración ilegal y proveer la suficiente seguridad a los residentes de su estado. Para ello los gobiernos de América, Europa y Asia han tomado cartas en este asunto incluyendo el uso de programas de control biométrico en tarjetas de identificación nacional, pasaportes, tarjetas de crédito, así como en determinados programas de salud.

Por otro lado, ya han empezado a aparecer lentamente en el mercado distintos periféricos de uso doméstico que escanean los ojos para verificar la identidad del usuario. No obstante, hay que tener en cuenta que, de momento, las principales patentes de reconocimiento de iris pertenecen a una sola compañía: *Iridian Technologies*. Considerando que algunas de esas patentes acaban de expirar, y que el resto lo hará en un plazo máximo de 10 años, los expertos pronostican un espectacular crecimiento de los dispositivos de biometría ocular a partir de la próxima década.

Y por supuesto no hay que olvidar, su gran utilidad en el campo de la seguridad pública y justicia. Se emplea, por ejemplo, en la identificación de los presos en los procesos de asistencia y puesta en libertad, para así intentar evitar que ciertos presos logren escapar de las cárceles. Además estas aplicaciones también se emplean para la identificación de los visitantes, autenticar a los trabajadores y como control de acceso a determinadas zonas de privilegio de la prisión.



Capítulo 4:

Metodología de evaluación basada en ICE 2005

Toda evaluación necesita seguir unas determinadas pautas para poder valorar los resultados obtenidos. En este capítulo se va a realizar una descripción de la metodología utilizada para la evaluación del sistema de identificación objeto del presente proyecto, la cual va a estar basada en la iniciativa ICE 2005 del NIST.

Para ello se va a comenzar hablando de qué es ICE, sus orígenes, objetivos y su trayectoria. Se verá que ICE es la mayor evaluación independiente realizada a nivel mundial de los algoritmos de identificación mediante iris ocular.

Luego se pasará a describir más detalladamente las características y peculiaridades de la base de datos que fue proporcionada por ICE, y cómo es la estructura de ficheros necesarios para el manejo de la misma, dado que ambos recursos han servido de fuente de datos para la labor realizada.

Por último y para finalizar el capítulo se comentarán los resultados obtenidos por ICE hasta la fecha y las conclusiones que se pueden obtener a partir de los mismos para dar una idea del estado en el que se encuentra actualmente esta evaluación general.

4.1. Origen de ICE (Iris Challenge Evaluation)

El *Iris Challenge Evaluation* (ICE) 2005 es un proyecto de evaluación tecnológica para los sistemas de reconocimiento de iris, llevado a cabo y dirigido por el *National Institute of Standards and Technology* (NIST). Esta iniciativa consiste en la primera evaluación independiente a gran escala del reconocimiento por iris.

El principal objetivo de ICE es promover el desarrollo y la evolución de las tecnologías de reconocimiento de iris y así, poder determinar su capacidad de progreso estando abierto tanto a la participación de la industria como de las universidades, además de los centros de investigación.

Antes de ICE las únicas evaluaciones realizadas del reconocimiento de iris se basaban en el rendimiento de los sistemas y eran efectuadas por los propietarios de los algoritmos. ICE es la primera evaluación diseñada para medir la tecnología subyacente que hace posible el reconocimiento de iris.

Actualmente se han celebrado dos ediciones de este concurso en el año 2005 y en el 2006, pudiéndose distinguir cada una de ellas como dos fases complementarias dentro de ICE. Estas son las siguientes:

- ICE 2005 (Fase I): comenzó en Agosto de 2005 y consistió en un reto dentro del reconocimiento de iris. A los diferentes participantes se les proporcionó una base de datos de imágenes común a la que debían aplicar sus algoritmos, y a partir de la cuál deberían obtener una matriz compuesta por los resultados de realizar la comparación de cada una de las fotografías del iris con el resto. Este procedimiento se realizó tanto para imágenes de iris de ojos derechos como de ojos izquierdos (experimentos 1 y 2 respectivamente).

Un esquema del método llevado a cabo por los concursantes en esta fase es el que puede verse en la Figura 4.1. En él que se compara cada una de las imágenes de la base de datos, que en este caso se irán tomando una a una como imágenes patrón, con el resto de las imágenes de iris de la base de datos que se definirán como muestras (incluida la imagen que se está tomando como patrón). De cada una de las comparaciones se obtiene un valor numérico con el que se va rellenando la matriz.

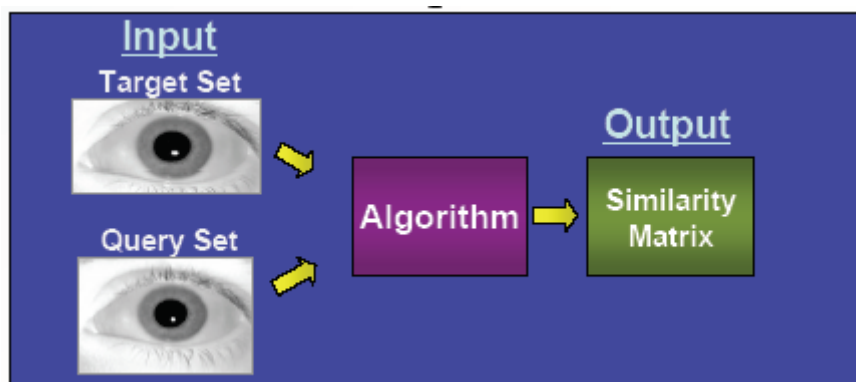


Figura 4.1. Esquema de funcionamiento de ICE 2005 [Phi05].

Del mismo modo se realizaron experimentos (experimentos 3 y 4) con imágenes de ojos derechos e izquierdos pertenecientes a un mismo individuo para poder examinar la independencia que guardan entre sí los iris de una misma persona.

La meta fundamental que se buscaba en esta fase del concurso era analizar la viabilidad del iris para ser usado como sistema de reconocimiento biométrico. A su vez también se pretendía comprobar el grado de desarrollo de la tecnología de reconocimiento de iris, así como promover y avanzar dentro de este campo apoyando los esfuerzos existentes.

Como se verá en el apartado de resultados, esta experiencia proporcionó excelentes resultados para esta técnica de identificación biométrica demostrando que el reconocimiento por iris es un método muy bueno para la identificación de personas así como la independencia del iris derecho e izquierdo para un mismo sujeto.

- ICE 2006 (Fase II): empezó en Junio de dicho año y ha consistido en una evaluación a gran escala, abierta e independiente de la tecnología de reconocimiento de iris.

Los participantes han tenido que presentar sus algoritmos de manera que estos fuesen capaces de analizar las fotos de una base de datos no conocida y ofrecer a NIST la manera de obtener la misma matriz de resultados que en la fase anterior del concurso, que posteriormente será analizada para obtener los resultados. Para garantizar una correcta valoración, ICE medirá el funcionamiento de los sistemas con datos aislados y desconocidos para los participantes



en esta edición del concurso. Una idéntica base de datos junto con una metodología estándar serán las empleadas para poder evaluar a todos los participantes de manera uniforme.

El principal objetivo de esta fase del concurso se trata de determinar el “estado de la técnica” en cuanto al rendimiento de cada alternativa para el reconocimiento de iris, además de establecer unas pautas para poder valorar futuros progresos. A su vez se espera sacar conclusiones de los resultados obtenidos que permitan lograr mejoras para posteriores desarrollos de los sistemas de reconocimiento mediante iris.

Este concurso a nivel global ha sido el punto de partida para realizar la evaluación de un sistema de identificación, objetivo principal planteado en este trabajo. De él se han utilizado tanto su base de datos como los ficheros y librerías relacionadas con ella y que permiten su manejo.

La línea a seguir para llevar a cabo la valoración del sistema de identificación ha sido similar a la seguida en la fase primera del concurso, obteniendo una matriz de resultados de comparar cada una de las imágenes de iris con el resto de imágenes de la base de datos.

Una vez conseguida esta matriz ha sido examinada para ver si los datos logrados en las diferentes comparaciones proporcionaban el resultado correcto, es decir, si la imagen patrón que coincide con la imagen de muestra corresponden al mismo usuario. Esta es una forma de comprobar si los algoritmos utilizados son fiables a la hora de identificar a un individuo mediante la imagen de su iris dentro de un grupo amplio de personas.

A continuación se van a comentar las características generales de la base de datos de las imágenes de iris que se utilizaron en la fase primera del concurso, además del formato y el contenido de los ficheros que almacena la información de cada una de las fotos. El motivo de ello se debe, como ya se ha mencionado anteriormente, a que ambos han sido usados para la evaluación llevada a cabo en el proyecto.

4.2. La base de datos

La base de datos se compone de 2953 imágenes donde se encuentran mezclados tanto imágenes de ojos derechos como de ojos izquierdos. Estas imágenes se corresponden con fotografías tomadas a 132 individuos en total, de los cuáles 112 han facilitado muestras de ambos ojos.

Las imágenes de iris que pertenecen exclusivamente a ojos derechos se componen de un total de 1425 fotos que fueron tomadas a 124 individuos, por lo que se deduce que de un mismo ojo se han tomado varias muestras. Lo mismo ocurre para las imágenes de los iris pertenecientes a ojos izquierdos que son un total de 1528 fotos efectuadas a 120 individuos.

Un ejemplo de una de las imágenes de la base de datos es el que se puede ver en las Figuras 4.2 y 4.3.

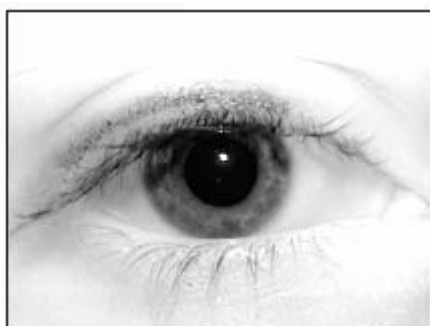


Figura 4.2. Imagen iris derecho [Phi05].



Figura 4.3. Imagen iris izquierdo[Phi05].

Otra de las particularidades de la base de datos presentada en ICE 2005 se encuentra en su diversidad de imágenes ya que las fotografías que la componen presentan peculiaridades como:

- ojos en diferentes posiciones dependiendo de donde se haya dirigido la mirada en el momento de tomar la foto o de la posición del individuo frente a la cámara,
- ojos en los que el iris se encuentra parcialmente oculto por los párpados,
- fotografías con características que pueden llegar a presentarse en la realidad como son las lentillas, ojos maquillados, etc,



- ojos de diferentes tamaños y formas dependiendo de las fisonomías de las diversas razas que existen en el mundo o de la cercanía a la cámara en el momento de tomar la foto, etc.
- diferentes calidades ya que en su adquisición no se ha tenido en cuenta esta característica y algunas de las imágenes son borrosas o no se encuentran del todo centradas.

Atendiendo a características más técnicas se puede decir que las imágenes de esta base de datos se encuentran dentro del rango infrarrojo y se presentan en escala de grises. Tienen unas dimensiones de 640 x 480 píxeles y han sido almacenadas en formato “.tiff” (*Tagged Image File Format*), de manera que la imagen contiene determinadas etiquetas que proporcionan información adicional para su tratamiento posterior aparte de lo que es estrictamente la foto. El inconveniente de este formato es que requiere el manejo de las librerías necesarias para tratarlo.



4.3. La estructura de ficheros XML

Como ya se ha comentado anteriormente el manejo de la base de datos requiere unos ficheros complementarios donde se almacenen cada una de las características de las diferentes fotos que la componen. Es por ello que junto con la base de datos también se han utilizado unos ficheros escritos en lenguaje XML (*eXtensible Markup Language*) donde se guarda toda esta información.

Este lenguaje se caracteriza por estar definido mediante etiquetas y ser utilizado como un estándar para el intercambio de información estructurada en diferentes plataformas de manera segura, fiable y fácil permitiendo así la compatibilidad entre las mismas.

La estructura que siguen estos ficheros está formada por una serie de etiquetas iniciales en las que se describen diferentes aspectos acerca del mismo y de los datos que lo integran, seguidas de la información correspondiente a cada una de las fotografías de iris que conforman la base de datos.

La manera en la que vienen definidas las imágenes de iris es la que se muestra en la Figura 4.4, y los campos que la componen son los que se describen a continuación:

- biometric-signature name: esta etiqueta define el comienzo de una nueva fotografía y viene establecido por un número que corresponde a una determinada persona para la cuál puede que se hayan tomado varias muestras de sus ojos.
- presentation name: este parámetro es el número que identifica en concreto una fotografía de iris de la base de datos.
- modality: es un campo que representa el tipo de imagen que corresponde con la fotografía. En este caso es el iris.
- file-name: este campo se corresponde con la ruta de datos donde se encuentra almacenada la imagen.



- file-format: en este campo viene definido el formato en el que se ha almacenado la imagen. En este caso y como ya se ha comentado anteriormente son imágenes de tipo “.tiff”.
- /biometric-signature: por último y para finalizar la descripción de cada una de las imágenes se encuentra esta etiqueta.

```
<biometric-signature name="291138">  
  < presentation name="242912"  
    modality="IRIS"  
    file-name="nd1/Spring2004iris/242912.tiff"  
    file-format="tiff"/ >  
</biometric-signature>
```

Figura 4.4. Segmento de un fichero XML.

Existen varios ficheros que siguen esta estructura que ICE proporcionó a los participantes de la primera fase del concurso. Cada uno de ellos se corresponde con uno de los 4 experimentos que se iban a desarrollar en el concurso:

- ICE_Exp_1.0.1_Target.bxml: este fichero se corresponde con las imágenes de la base de datos de todos los ojos derechos (experimento 1). Sirve para realizar el análisis de los algoritmos con todas las imágenes pertenecientes a los ojos derechos y obtener los resultados correspondientes.
- ICE_Exp_1.0.2_Target.bxml: este fichero es similar al anterior pero en este caso se trata de los ojos izquierdos. Se usa para realizar el experimento con los iris izquierdos (experimento 2).
- ICE_Exp_1.0.3_Target.bxml: este fichero contiene la información de imágenes tanto de ojos derechos como de ojos izquierdos. Se utiliza para el experimento en el que se comparan el iris de ambos ojos para obtener resultados acerca de la independencia de los mismos (experimento 3).



- ICE_Exp_1.0.4_Target.bxml: este fichero se trata, al igual que el anterior, de una mezcla de imágenes de iris de los dos ojos y se utiliza para experimentos similares (experimento 4).

Hay que decir que durante el desarrollo de la prueba de ICE 2005 se dieron cuenta de un error: dentro del fichero en el que se encuentran las imágenes que estaban caracterizadas como ojos izquierdos (ICE_Exp_1.0.2_Target.bxml) existe una que pertenece a los ojos derechos y que habrá que tener en cuenta en los resultados ya que puede proporcionar datos erróneos.

Aunque en la Fase I de ICE se utilizaron todos los ficheros antes mencionados, para este proyecto sólo se van a usar los dos primeros, es decir, los que tienen que ver exclusivamente con los experimentos que sólo utilizan los iris de un único lado, bien sea el derecho o el izquierdo.

Una vez descrita la metodología de evaluación utilizada en ICE y los datos utilizados, se va a pasar a comentar los resultados obtenidos al finalizar la primera fase de este concurso para dar una idea del estado actual en el que se encuentra la técnica de iris.



4.4. Resultados de ICE 2005

A continuación se van a comentar algunos de los resultados obtenidos en la primera fase del concurso ICE (2005) por su relevancia. Antes de nada decir que sólo se muestran estos resultados ya que a día de la escritura de esta memoria, los resultados de la segunda fase (ICE 2006) todavía no han sido publicados.

En esta primera fase del concurso se presentaron 9 participantes pertenecientes a 6 países con un total de 15 algoritmos. Estos fueron los siguientes:

- Cambridge University (*Cam 1, Cam 2*).
- Carnegie Mellon University (*CMU*).
- Chinese Academy of Sciences, Center for Information Science (*CAS 1, CAS 2, CAS 3*).
- Indiana University, Purdue University, Indianapolis (*IUPUI*).
- Iritech (*IritchA, IritchB, IritchC, IritchD*).
- PELCO (*Pelco*).
- SAGEM - Iridian (*SAGEM*).
- West Virginia University (*WVU*).
- Yamataki Corp / Tohoku University (*Tohoku*).

De todos los algoritmos propuestos hay tres de ellos que no se ejecutan de manera automática completamente, sino que requieren una cierta intervención manual. Estos son: el IritchA, el IritchB y el IritchC pertenecientes al participante Iritech. Es por ello que los resultados de estos algoritmos ICE los han evaluado aparte.

Para el análisis de resultados el parámetro que ICE ha tenido en cuenta ha sido el tanto por ciento de éxitos denominado tasa de verificación (*Verification Rate*), dada una tasa de falsa aceptación FMR (*False Match Rate*) fija. La tasa de verificación viene dada por la expresión:

$$\text{Tasa de verificación} = 1 - \text{FNMR}$$

siendo FNMR la tasa de falso rechazo (*False Non Match Rate*) también llamada error de verificación.

Por otra parte, como ya se ha comentado en los primeros capítulos, interesa que tanto la tasa de falsa aceptación como la de falso rechazo sean mínimas, pero existe una relación de dependencia entre ambas que provoca que si se minimiza una se vea perjudicada la otra. Es por ello que para valorar los resultados ICE optó por fijar un valor bajo para la tasa de falsa aceptación y ver como se comporta la tasa de falso rechazo por medio de la tasa de verificación.

El valor de la tasa de verificación ha sido calculado para cada uno de los resultados presentados por los participantes tanto para el experimento realizado a los ojos derechos (experimento 1) como para el efectuado a los ojos izquierdos (experimento 2). Esto se ha representado en una gráfica de diagramas de bloques que se muestra en la Figura 4.5. siendo el experimento 1 los bloques de color rojo mientras que el experimento 2 los bloques de color azul. En este caso el valor dado a la tasa de falsa aceptación ha sido $FMR=0.001$.

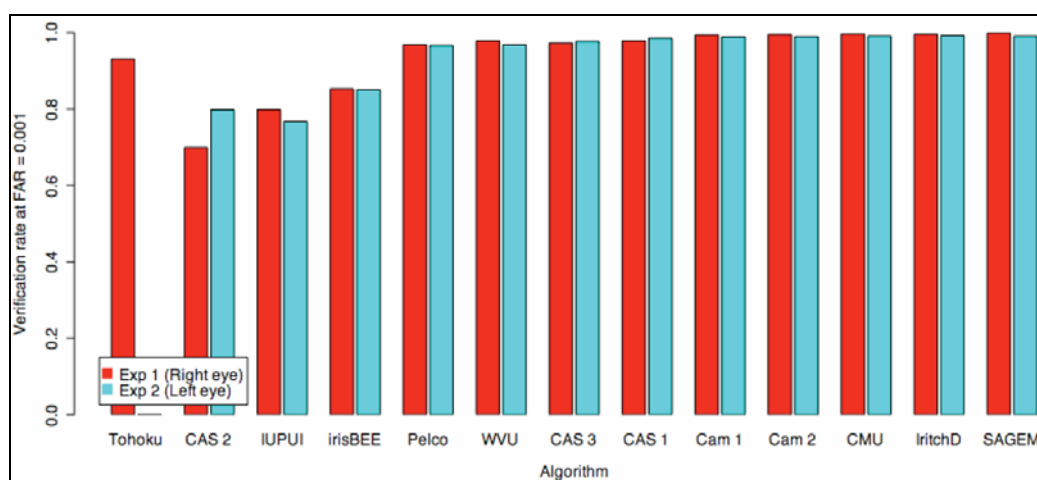


Figura 4.5. Diagrama de bloques de la tasa de verificación para una $FMR=0.001$ [Phi05].

Una mejor visualización y valoración de los datos se puede observar en la Figura 4.6. en la que se muestra la zona cuya tasa de verificación es próxima a la unidad de forma ampliada.

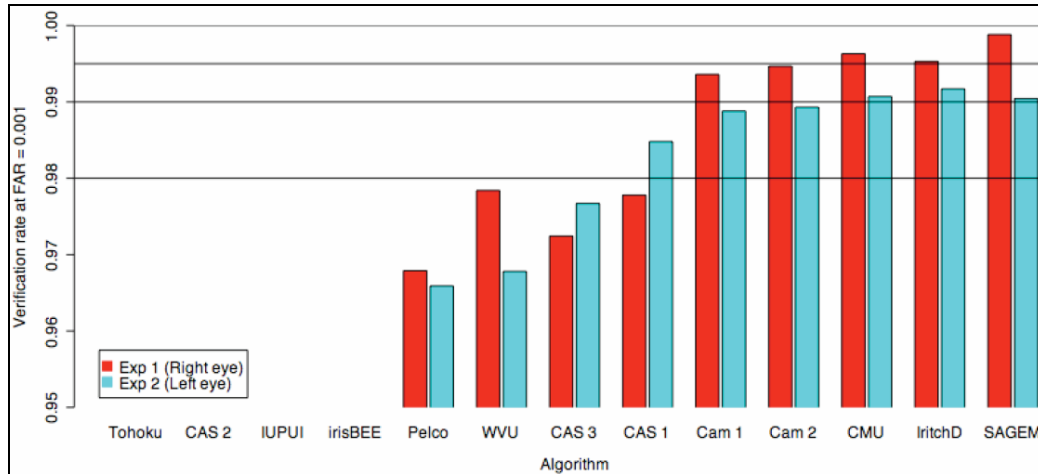


Figura 4.6. Ampliación del diagrama de bloques para una FMR=0.001 [Phi05].

Como se ha podido ver en las gráficas de las Figuras 4.5 y 4.6 los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios al medirse tasas de verificación muy próximas a la unidad, lo cuál indica que la tasa de falso rechazo es mínima.

Para completar su evaluación ICE efectuó un nuevo análisis del parámetro de la tasa de verificación para los resultados proporcionados por los participantes, pero esta vez fijando una FMR diez veces menor que la anterior (FMR=0.0001). De esta forma se pudo medir la sensibilidad de este parámetro ante cambios del valor de la FMR. En la Figura 4.7. puede verse la gráfica obtenida para la nueva FMR.

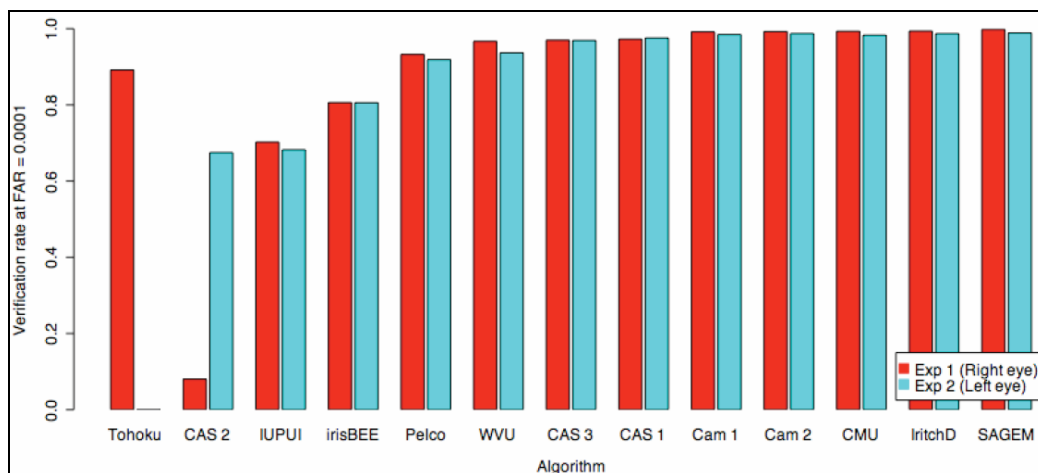


Figura 4.7. Diagrama de bloques de la tasa de verificación para una FMR=0.0001 [Phi05].

De la misma forma que se hizo anteriormente, en la Figura 4.8. se muestra aumentada la parte de la gráfica cuya tasa de verificación es cercana a la unidad para poder observar con más precisión las diferencias entre los resultados.

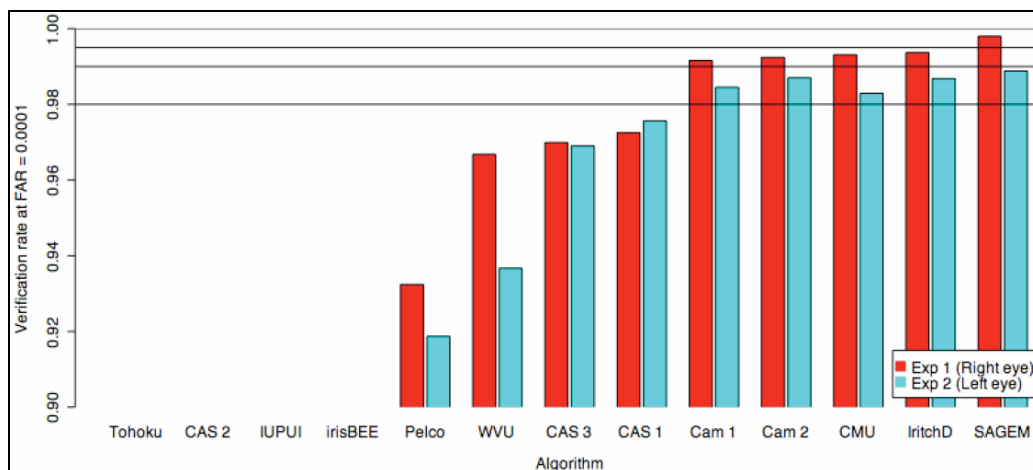


Figura 4.8. Ampliación del diagrama de bloques para una FMR=0.0001 [Phi05].

Al igual que ocurría en los resultados anteriores, el valor de la tasa de verificación es prácticamente la unidad obteniéndose de nuevo tasas de falso rechazo mínimas. A su vez se pudo comprobar la estabilidad de los datos ya que al disminuir el valor de la tasa de falsa aceptación no se producían apenas variaciones en los resultados.

Todos los resultados vistos hasta ahora han sido obtenidos a partir de los algoritmos cuyo funcionamiento es completamente automático. Ahora de la misma manera que antes, se va a pasar a analizar el valor de la tasa de verificación de la información obtenida al procesar los algoritmos de Iritech que requieren algún tipo de intervención manual. La gráfica en la que se muestra estos datos se puede observar en la Figura 4.9.

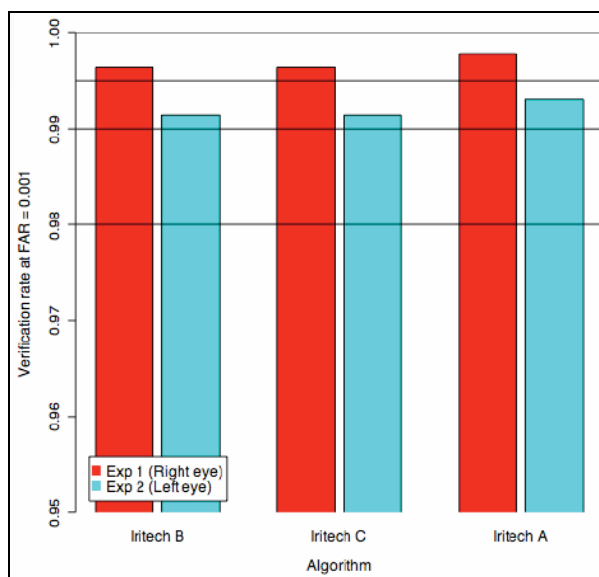


Figura 4.9. Diagrama de bloques de la tasa de verificación para una FMR=0.001. Algoritmos con intervención manual [Phi05].

De nuevo se puede observar como los resultados conseguidos por estos algoritmos vuelven a ser muy buenos al tener su tasa de verificación muy cercana a la unidad. Hay que decir que en estos algoritmos se aprecia una leve mejoría de la tasa de verificación respecto al automático presentado por el mismo participante (provocada probablemente por la intervención manual), aunque no llega a superar al algoritmo automático propuesto por el concursante SAGEM cuya tasa de verificación sigue siendo mayor.

Por último y después de considerar todos los gráficos vistos hasta ahora, un detalle que hay merece la pena resaltar y que tiene lugar en todos ellos con independencia del valor dado a la FMR y de si los algoritmos son completamente automáticos o necesitan alguna intervención manual, tiene que ver con que siempre se obtienen mejores resultados cuando se analizan imágenes de ojos derechos (experimento 1) que de izquierdos (experimento 2). Este hecho no tiene ninguna explicación teórica que lo justifique, pero lo cierto es que experimentalmente se puede ver que ocurre incluso analizando imágenes en las que se encuentran plasmados ambos ojos.

Para terminar de comentar los resultados a los que llegó ICE en su primera fase hay que decir que con esta evaluación se pudo comprobar que los algoritmos de los que se dispone hoy en día para la identificación biométrica mediante el iris ocular son capaces de identificar a un sujeto favorablemente dentro de un grupo amplio de personas.



Capítulo 5:

Desarrollo efectuado y resultados obtenidos

Este capítulo describe todo el trabajo realizado hasta llegar a alcanzar los objetivos planteados al comienzo de este documento. En el se van a comentar todos y cada uno de los pasos necesarios para llegar a poder evaluar un sistema de identificación. El orden que se va a seguir en esta explicación se corresponde con la línea de trabajo llevada a cabo en el desarrollo del proyecto.

En primer lugar se va a hablar de una aplicación creada para permitir un manejo más fácil de la base de datos y que permite obtener, de forma rápida, toda la información relacionada con cada una de las fotografías de la base de datos utilizada en la evaluación. Se va a detallar tanto su funcionamiento como el modo de utilizarla.

Luego se pasará a describir en qué consiste todo el procedimiento de análisis del sistema de identificación. Por un lado se explicarán todas las fases del sistema y dentro de las mismas las partes pertenecientes a trabajos anteriores y las que ha habido que desarrollar para adaptarse a los nuevos datos a procesar, mientras que por otro lado, se detallará la manera en qué se realiza la evaluación del mismo a partir de los resultados obtenidos una vez finalizados los cálculos del sistema de identificación.

A continuación se comentará cómo es, el funcionamiento y cómo utilizar la aplicación principal desarrollada para este proyecto y que se encarga de efectuar tanto el procesamiento de los datos por el sistema de identificación como la valoración del mismo.

Por último se expondrán los resultados obtenidos una vez realizada la evaluación de los sistemas de identificación.

5.1. Aplicación desarrollada para la utilización de la base de datos

El primer paso efectuado para la consecución del proyecto tiene que ver con el desarrollo de una sencilla aplicación que permita realizar de forma rápida y sencilla la gestión de la base de datos de las imágenes de iris que se han utilizado para el análisis del sistema de identificación.

El objetivo por el cuál se ha elaborado esta aplicación tiene que ver con la localización de forma instantánea de cualquiera de las imágenes de la base de datos y de toda la información acerca de la misma para poder comprender mejor los resultados, solucionar posibles errores que puedan ocurrir durante el procesamiento de las mismas o utilizarla en posteriores desarrollos.

Dicha aplicación consiste de manera general en un sistema de búsqueda de las imágenes de la base de datos que proporciona la información adicional correspondiente almacenada en los ficheros XML y que permite además una visualización de la fotografía cuyos datos se desean conocer. Una imagen de la misma se puede ver en la Figura 5.1.

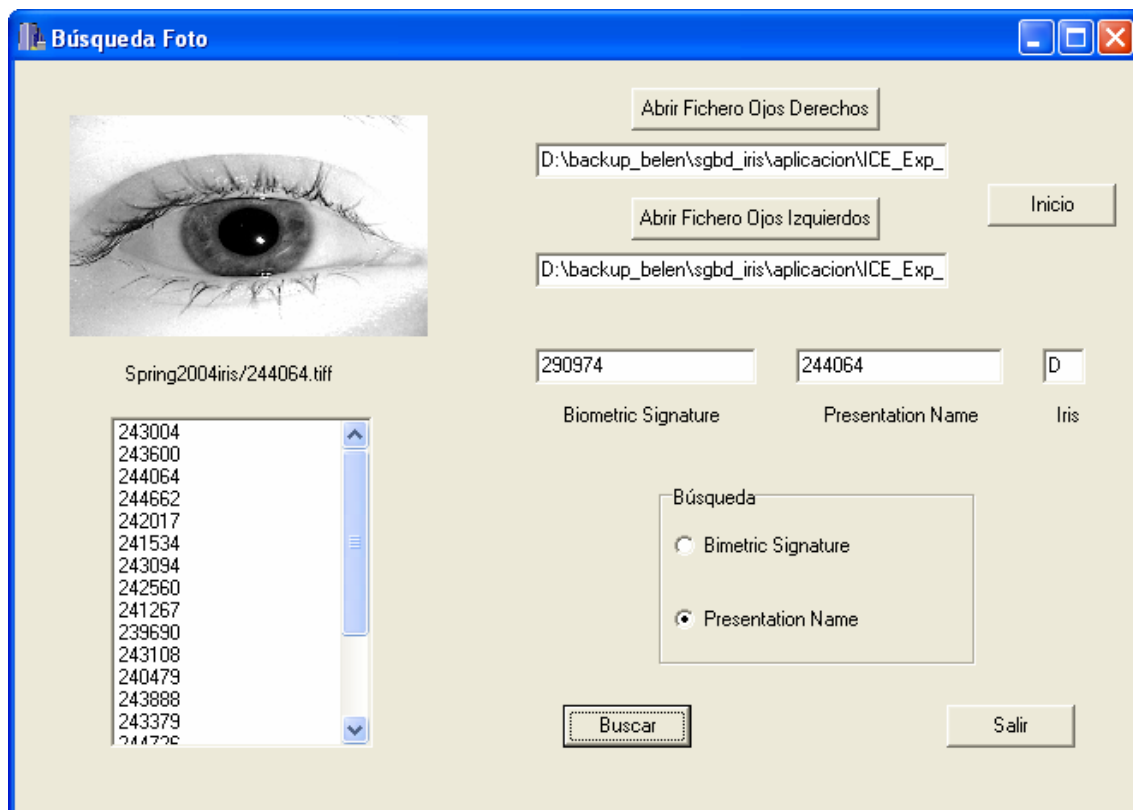


Figura 5.1. Pantalla principal de la aplicación que gestiona la base de datos.

El funcionamiento de esta aplicación se basa en relacionar las fotos de la base de datos con la información guardada en los ficheros XML de forma que se puede conocer cuál es la persona a la que pertenece la foto (biometric signature), su número de muestra (presentation-name) y si la foto es de su ojo derecho (D) o de su ojo izquierdo (I). También permite saber otras muestras tomadas a ese mismo sujeto.

La búsqueda dentro de la misma de las diferentes fotografías se puede realizar de dos formas diferentes:

- por el número de persona al que pertenece la imagen (biometric signature),
- o por el número de muestra de la foto (presentation-name).

A continuación se va a explicar la manera de efectuar esta búsqueda además de los elementos que se pueden encontrar en la aplicación y otras pautas relacionadas con la utilización de la misma.

5.1.1. Uso de la aplicación

Antes de pasar a describir el funcionamiento de la aplicación, se va a mostrar una fotografía de la misma (Figura 5.2.) en la que se pueden ver todos los elementos que la componen y una breve explicación de para que sirve cada uno de ellos.

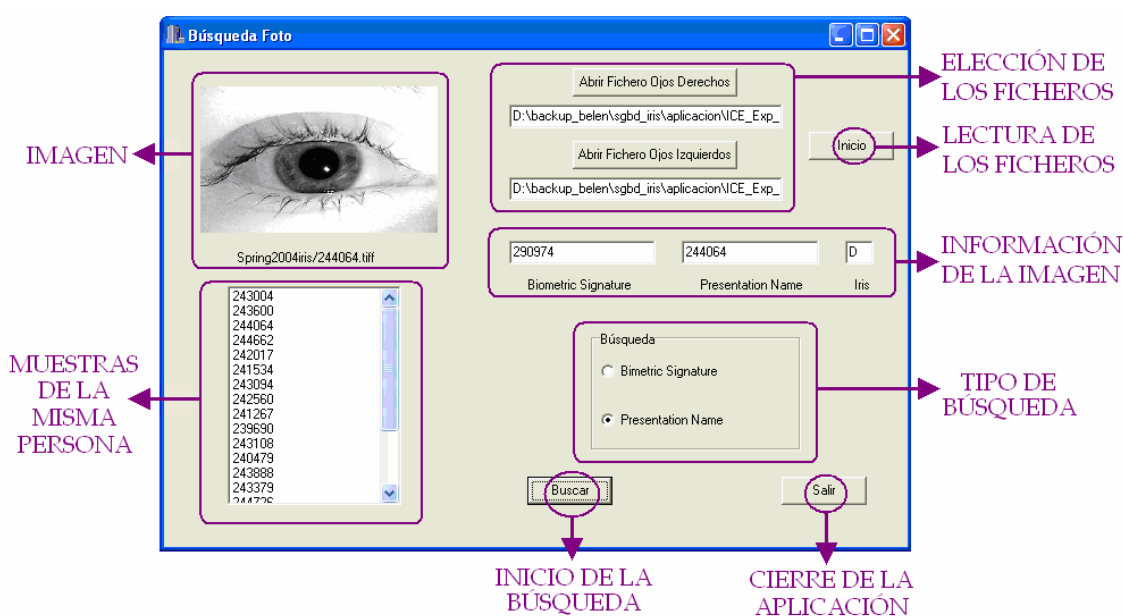


Figura 5.2. Elementos que componen la pantalla principal de la aplicación.

El manejo de la aplicación es muy simple. Una vez que se ejecuta la misma, lo primero de todo es indicar la localización de los ficheros XML que guardan toda la información de las imágenes de la base de datos como ya se ha mencionado en el capítulo anterior. Para ello basta con pulsar los botones de “Abrir Fichero Ojos Derechos”, “Abrir Fichero Ojos Izquierdos” respectivamente de forma que aparece un cuadro de diálogo que permite elegir los ficheros deseados. Una vez seleccionados estos, se pulsa el botón de “Inicio”. Este paso es imprescindible ya que desencadena la lectura de los ficheros escogidos y de no realizarse la misma, aparecerá un mensaje de error al intentar efectuar la búsqueda como el que se muestra en la Figura 5.3.

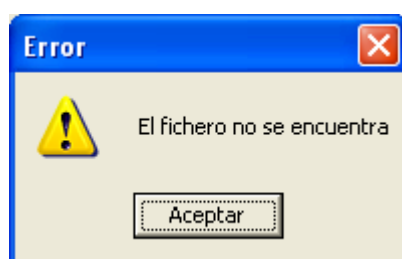


Figura 5.3. Pantalla de error.

Una vez leídos los ficheros, se puede efectuar la búsqueda de las imágenes. Existen dos opciones de búsqueda dentro de la base de datos:

- bien sea por número de muestra, es decir, por el campo llamado presentation name en los ficheros XML. Si la opción elegida es esta, a continuación se rellena el campo denominado presentation name con el número de muestra de la imagen que se desea consultar y se pulsa el botón “Buscar”. Es entonces cuando aparecerán todos los campos referentes a esa foto completados con el resto de la información de la imagen. También aparece una lista de todas las muestras tomadas a esa misma persona (mismo biometric-signature) y la imagen de la foto cuyos datos se han solicitado.
- o bien sea por el número asignado a una persona en concreto, campo nombrado como biometric-signature en los ficheros XML. En este caso hay que escribir el número asignado a la persona de la cuál se desea conocer todas sus muestras y posteriormente pulsar el botón “Buscar”. A continuación aparecerá una lista de todas las muestras tomadas a esa



misma persona (misma biometric-signature). Para esta opción no aparecen el resto de los campos completados ni la imagen de ninguna de las fotos a no ser que alguna de ellas sea seleccionada de forma particular como se explica a continuación.

Para ambas opciones, una vez que se ha iniciado una búsqueda y que se tiene como resultado la lista de imágenes que pertenecen a un mismo sujeto, existe la posibilidad de elegir cualquiera de ellas haciendo doble click sobre su número de muestra en esta lista. De esta forma se completa el campo de información con los datos correspondientes a la imagen seleccionada así como se muestra esta foto en el campo de la imagen.

Si se desea realizar una nueva búsqueda sin cerrar la aplicación basta con volver a seleccionar la opción de búsqueda deseada y volver a escribir los datos en el campo correspondiente. Una vez hecho esto se vuelve a pulsar el botón “Buscar”.

Una vez descrita cómo es la aplicación que se ha utilizado para poder moverse dentro de la base datos, se va a pasar a explicar cómo es el sistema de identificación a evaluar, los cambios que han tenido lugar dentro del mismo para poder procesar las imágenes de la nueva base de datos, y todos los cálculos llevados a cabo para analizarlo y proporcionar así unos resultados referentes a su evaluación.



5.2. Sistema de identificación

En este apartado se van a describir cada una de las partes del sistema de identificación utilizadas para este proyecto explicando los diferentes cambios y adaptaciones que se han llevado a cabo debido a la utilización de las imágenes de la base de datos anteriormente comentada, cuyo formato, tamaño y calidad difieren de las que se utilizaban hasta entonces.

5.2.1. Captura

La captura de la imagen es el primer paso a realizar en un sistema de identificación. Normalmente se efectúa con una cámara de iris que se encarga de fotografiar el ojo de la persona a identificar pero, ahora este paso resulta diferente. Las fotografías a analizar han sido tomadas previamente y se encuentran almacenadas en una base de datos, por lo que para este caso se va a considerar la etapa de captura como la obtención de la imagen de la base de datos. Para ello se utilizan los ficheros XML comentados en el capítulo anterior en los que se encuentran cada una de las fotos que se van a usar en los diferentes experimentos.

Los métodos de los que se parte estaban elaborados para la adquisición de una imagen en formato jpeg. Como en este caso se van a utilizar imágenes cuyo formato es .tiff ha sido necesario efectuar una serie de adaptaciones. Estas modificaciones tienen que ver con los siguientes puntos:

- A la hora de abrir las imágenes las cuales van a ser procesadas por los algoritmos (patrón y muestra). Para ello se necesitan utilizar funciones específicas de las librerías apropiadas para el manejo de archivos .tiff. que proporcionen tanto las dimensiones de las imágenes como las imágenes en sí.
- En el factor de diezmado de las imágenes. Una vez que se dispone de la imagen, esta es reducida debido a que no es necesario trabajar con toda la información y de esta forma se minimiza el coste computacional. Dado que las nuevas imágenes tienen unas dimensiones mayores, ha sido necesario aumentar este factor para acrecentar así el ritmo de diezmado y conseguir resultados similares.



5.2.2. Preprocesado

En esta etapa como ya se ha comentado anteriormente se trata de mejorar las imágenes para reducir el número de operaciones y optimizar así la eficacia y la rapidez de la etapa siguiente en la que se efectúa la extracción de características.

Básicamente consiste en obtener de la imagen las partes necesarias para las futuras etapas eliminando las que son irrelevantes, es decir, las que no forman parte del iris. Posteriormente, a partir de la imagen obtenida se calcula la firma del iris.

A continuación se describirá el proceso que sigue cada uno de los dos bloques en los que se divide esta etapa del sistema y los cambios efectuados en los mismos para adaptarse a la metodología de evaluación expuesta.

5.2.2.1. Localización del iris

Después de obtener la imagen reducida en la etapa de captura, se procede a localizar el iris a partir de los valores de intensidad de gris que poseen cada uno de los píxeles que componen la imagen. Para ello primeramente se procede a localizar la frontera entre el iris y la esclerótica (contorno exterior). Una vez hallado este borde, se busca la frontera entre el iris y la pupila (contorno interior). Después de situar ambos contornos queda determinado el iris como la zona comprendida entre estos dos bordes. Para ambas búsquedas se utilizan técnicas basadas en el máximo gradiente de intensidad del contraste de la imagen.

Las funciones que implementan todos estos pasos son las siguientes:

- *aumentar_contraste_exterior*: esta función aumenta el contraste de la imagen realizando un estiramiento del histograma que permite resaltar aquellos niveles de gris sobre los que se va a actuar. Esto facilita la búsqueda del contorno exterior del iris.
- *contorno_exterior*: este método se encarga de detectar el borde del exterior del iris, delimitado este mismo por la frontera con la esclerótica o blanco del ojo. Como ya se ha comentado en capítulos anteriores, para localizar este contorno, se emplean únicamente los valores que pertenecen a los

sectores laterales, ya que el superior e inferior pueden verse afectados por el solapamiento de los párpados, y por tanto, no permitiría la detección del borde externo del iris.

Sobre dicha imagen se superpone una retícula virtual que permita analizar todos y cada uno de los valores de la imagen para así poder detectar el punto que presenta un mayor valor de contraste. A medida que la frontera entre esclerótica e iris se aproxima, el valor del contraste aumenta. Por tanto, la detección del contorno se limita a una búsqueda del máximo gradiente de intensidad a través de diversas circunferencias trazadas desde el centro, que posee un mayor valor del contraste, hacia el contorno externo del iris.

De esta manera se calcula la posición del centro de la pupila para el borde externo y el valor del radio de la circunferencia que definirá este contorno. Un ejemplo de la localización del contorno exterior puede verse en la Figura 5.4.

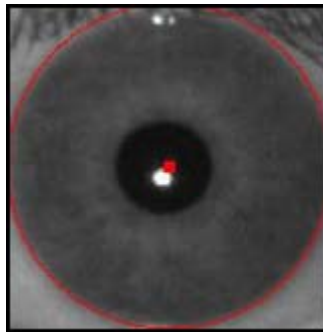


Figura 5.4. Localización del contorno exterior.

- *aumentar_contraste_interior*: para facilitar la detección del borde interior del iris es necesario realizar un nuevo estiramiento del histograma teniendo en cuenta ahora que el rango de los niveles de gris a resaltar es diferente al del contorno exterior. Ahora la frontera se encuentra entre el iris y la pupila y resulta más confusa sobre todo si la tonalidad del iris es muy oscura.
- *contorno_interior*: la forma de localizar este contorno es similar a la del borde exterior aunque ahora además de los cuadrantes laterales también se utiliza el cuadrante inferior. El cuadrante superior se elimina ya que sobre este suelen aparecer reflejos del flash de la cámara. Al igual que en el caso anterior se obtiene la posición del centro de la pupila y el radio de

la circunferencia que define este borde. Un ejemplo de la detección de este contorno se puede ver en la Figura 5.5.

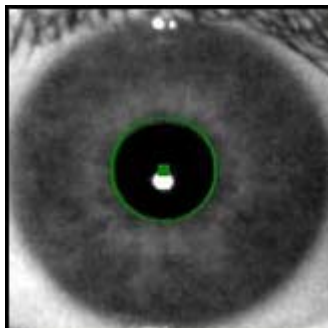


Figura 5.5. Localización del borde interno.

Para las cuatro funciones anteriores encargadas de la localización del iris no ha sido necesario introducir ningún cambio ya que las imágenes de la nueva base de datos ya han sido adaptadas en la fase anterior a la estructura con la que se trabaja en esta etapa.

Lo que si se ha hecho en esta parte del proceso y que permite una mejor evaluación y análisis del sistema de identificación ha sido añadirle dos nuevas funcionalidades:

- un control de calidad de las imágenes que resultan después de la detección de bordes de manera que se desechen aquellas en las que la localización de los contornos no se haya realizado correctamente. Esto se debe a que en la base de datos utilizada no se ha tenido en cuenta esta característica a la hora de tomar las muestras de los individuos que la forman. Para este control se han tenido en cuenta los siguientes parámetros:
 - el valor la desviación entre el centro considerado para la pupila (contorno interior), y el considerado para el iris (contorno exterior) no debe superar el 15% del radio del iris.
 - el valor del radio de la pupila no debe ser inferior al 10% del valor del radio del iris. Teniendo en cuenta esta medida se sabe el grado de dilatación de la pupila. Con este parámetro se están eliminando las fotos en las que se ha detectado una pupila muy pequeña lo cual implica que existe un error en la detección de los bordes dado que no es típico que esta se contraiga tanto.



- del mismo modo pero al contrario se desechan las fotos en las que la distancia entre el borde detectado para la pupila y el iris sea menor del 10%. En este caso se supone una dilatación de la pupila excesiva y se entiende que ha tenido lugar un error en la detección de bordes.
- que alguno de los bordes del iris se salga fuera de la imagen.

Todos los valores que representan un límite para los parámetros anteriores se han obtenido heurísticamente, es decir, mediante pruebas de ensayo y error.

De todas las imágenes que han sido rechazadas por alguna de las razones anteriores, se va almacenando su número de muestra (presentation name) junto con la razón de su rechazo en un archivo llamado "fotos_baja_calidad.txt". De esta manera se podrá realizar estudios posteriores sobre estas imágenes así como mejorar los algoritmos de detección de bordes aplicados.

- la posibilidad de almacenar en un nuevo directorio denominado "Bordes" las imágenes de la base de datos en las que se vea reflejado donde se han detectado cada uno de los bordes que delimitan el iris ocular. La razón de almacenar estas imágenes se debe a que a partir de ellas se pueden corregir errores en la detección de bordes y depurar los algoritmos desarrollados para ello.

Una vez aislado el iris del resto de la imagen, se procede a la obtención de los valores que constituirán la firma del iris de cada imagen, necesaria para la etapa siguiente en la que se lleva a cabo la extracción de las características de dicha firma.

5.2.2.2 Obtención de la firma

La firma del iris es una señal unidimensional en la que se almacena toda la información del iris aislado y a partir de la cual se realiza la extracción de características propias de una determinada imagen. Los valores de esta firma son muy diversos y dependen de la estructura de estrías, hoyos y surcos que presente el iris. En la Figura 5.6 se muestra un ejemplo de la firma del iris de una imagen.

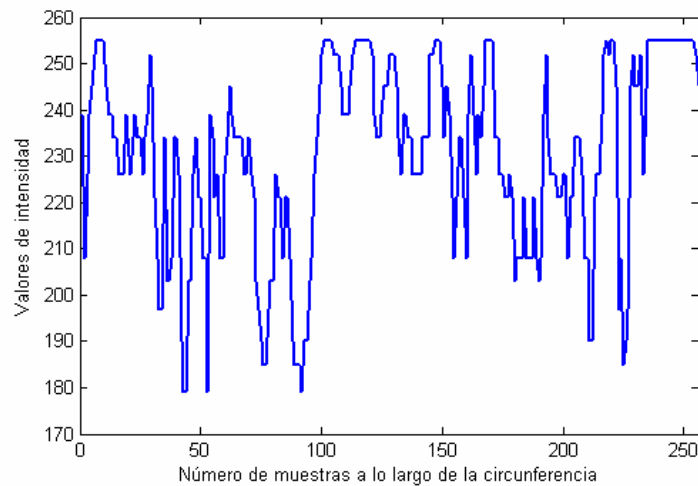


Figura 5.6. Representación gráfica de la firma de iris.

Existen diversas técnicas para la obtención de la firma que dependen del algoritmo que se vaya a aplicar en la etapa posterior para la extracción de características. Cada una de ellas ha sido descrita en el capítulo 3 de este documento y dentro del sistema han sido implementadas por diferentes funciones las cuáles no ha sido necesario modificar ya que los datos necesarios para esta etapa ya se encuentran en las estructuras adecuadas para realizar estos cálculos.

5.2.3. Extracción de las características

El vector de características es un vector compuesto por una serie de valores booleanos que se obtienen a partir de aplicar sobre la firma del iris la correspondiente transformada dependiendo del algoritmo que se emplee. Este vector se suele simplificar juntando los datos booleanos de 8 en 8 para formar caracteres de manera que dicha información ocupe menos espacio.

Las funciones y métodos de los que se dispone para esta etapa del sistema no necesitan ninguna modificación para poder aplicar los diferentes algoritmos a la firma previamente calculada y poder extraer de ella el vector de características. Pero para los sistemas de identificación anteriores los resultados obtenidos eran utilizados en el momento por las siguientes etapas del sistema de identificación.



Para este caso, al tratarse de una base de datos, se efectúa el análisis de todas las fotos pertenecientes a un determinado experimento antes de pasar a la fase de comparación. Es por esto, por lo que se hace necesario almacenar de alguna forma cada uno de los vectores de características de las diferentes imágenes y para cada algoritmo utilizado. Esta nueva funcionalidad ha sido la que se ha añadido a esta etapa para poder trabajar con una base de datos.

Una vez calculado el vector de características resultado de aplicar un determinado algoritmo a cada una de las fotografías es almacenado en un archivo que lleva por nombre el número de fotografía (presentation name) y por extensión tres letras que guardan relación con el algoritmo aplicado. Como existen tres posibles algoritmos las extensiones utilizadas van a ser las siguientes:

- filtros de Gabor: “.gab”
- Transformada Wavelet (círculo): “.wci”
- Transformada Wavelet (corona circular): “.wco”

A su vez todos ellos se almacenan dentro de una carpeta llamada “Características” de tal forma queden recogidos juntos todos los vectores en dicha carpeta para posteriores usos.

Como ya se ha comentado previamente, el vector de características está formado por una serie de valores booleanos que se almacenan en forma de caracteres en su archivo correspondiente para reducir su tamaño considerablemente. Los métodos desarrollados hasta el momento no consideraban el tamaño de todos los vectores de características resultado de los diferentes algoritmos, sino sólo el vector resultado de aplicar el algoritmo de la transformada Wavelet. Es por ello que ha habido que cambiar este procedimiento y hacerlo extensible para todos los algoritmos que se van a analizar ya que el resultado de aplicar el algoritmo de los filtros de Gabor es un vector de mayor longitud.

5.2.4. Comparación

Después de obtener el vector de características de cada una de las fotos, se va a obtener una matriz cuyos elementos van a ser el resultado de realizar una comparación entre el vector de características de una determinada foto de



la base de datos que se tomará como patrón y el resto de imágenes de la base de datos. La imagen que se escoge como patrón va cambiando de manera que cada fila de dicha matriz está formada por los resultados de comparar el vector de características de la imagen patrón con el resto de imágenes hasta conseguir rellenar todos los elementos. Un ejemplo de esta matriz es el que se puede ver en la Figura 5.7.

$$\begin{bmatrix} dist(imag1,imag1) & & dist(imag1,imagN) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ dist(imagN,imag1) & & dist(imagN,imagN) \end{bmatrix}$$

Figura 5.7. Matriz resultado de comparar los vectores de características de las imágenes de la base de datos.

Existen muchas técnicas a la hora de realizar la comparación entre los vectores de características. La que se va a emplear en este caso es la distancia de Hamming debido a su sencillez y buenos resultados como se comentó en el Capítulo 3. La distancia de Hamming compara la cantidad de bits en la que difieren los vectores de características de las imágenes a contrastar. De este modo, la mínima distancia que se obtiene por cada fila es para la imagen que más se parece a la imagen patrón de esa fila sin tener en cuenta los elementos de la diagonal para los que la distancia que se obtiene es nula ya que la comparación se realiza para los vectores de características pertenecientes a la misma imagen.

5.2.5. Obtención de resultados

A partir de la matriz de las distancias de Hamming obtenida en la fase anterior se van a obtener una serie de resultados estadísticos mediante los cuáles se efectúa la evaluación del sistema de identificación.

La manera de obtener dichas estadísticas es analizando la matriz de distancias. Se coge la fotografía para la cuál es menor la distancia de Hamming y se compara con la imagen de esa fila tomada como patrón para calcular dicha distancia. Pueden ocurrir varias cosas:



- Si estas imágenes corresponden a la misma persona (idéntica biometric-signature), se contabiliza este hecho como un acierto y se incrementa el número de comprobaciones.
- Si da la casualidad que la distancia de Hamming resulta mínima para más de una fotografía, se compara la identidad de la imagen patrón con la identidad de las fotografías para las cuales se ha detectado el mínimo. Si alguna de ellas no coincide se toma como un error y se incrementa el número de fallos. Si todas ellas coinciden, es un acierto y se incrementa por tanto su respectiva tasa. Para cualquiera de los resultados, se tiene en cuenta una única comprobación incrementándose de nuevo este valor.
- Si las imágenes tienen diferente identidad, tiene lugar un error. Se aumenta entonces el número de errores y de comprobaciones una unidad.

Este proceso se realiza para cada fila de la matriz de distancias hasta recorrer toda la matriz. Como se ha mencionado anteriormente, de todos los valores de la distancia de Hamming se descartan por cada fila el valor que ocupa la posición en la diagonal, ya que este siempre va a ser mínimo al estar calculada la distancia de Hamming de una foto consigo misma.

Siguiendo este procedimiento se obtiene el tanto por ciento de fallos y aciertos que resultan del procesamiento de todas las imágenes para cada uno de los algoritmos. Las fórmulas de cálculo son las que se muestran a continuación:

$$\% \text{ aciertos} = \frac{\text{número de aciertos}}{\text{número de comprobaciones}} \cdot 100$$

$$\% \text{ fallos} = \frac{\text{número de fallos}}{\text{número de comprobaciones}} \cdot 100$$

Todos los resultados anteriores son almacenados en un fichero denominado “estadisticas.txt” en el que se indica a su vez la fecha y hora en la que se ha realizado el cálculo así como los ficheros que se han utilizado en el experimento. La finalidad de esto es poder consultarlos siempre que sea necesario sin necesidad que volver a realizar todo el proceso mencionado anteriormente.

5.3. Aplicación desarrollada para la evaluación del sistema de identificación

Para efectuar la evaluación antes explicada se ha desarrollado una aplicación que facilita este proceso. En ella se puede elegir cuál o cuáles son los algoritmos a analizar además de mostrar los resultados y demás opciones que se comentarán a lo largo de este apartado. Una vista de las dos pantallas que la componen se muestra en las Figuras 5.8 y 5.9.

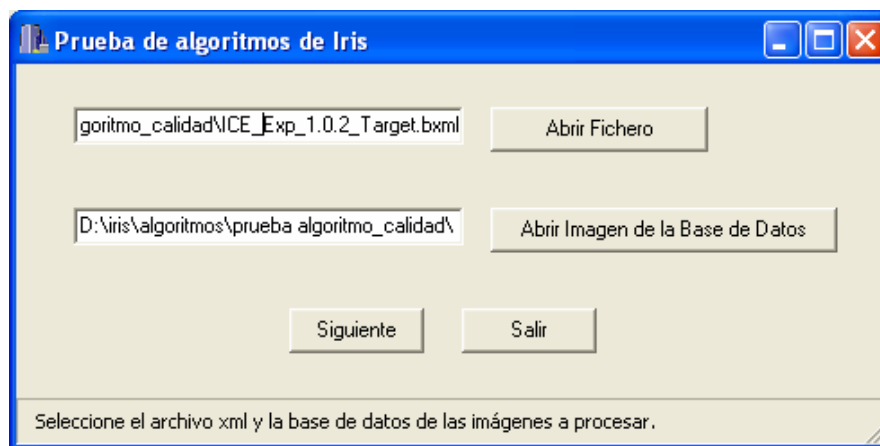


Figura 5.8. Pantalla para la elección del fichero XML y la base de datos.

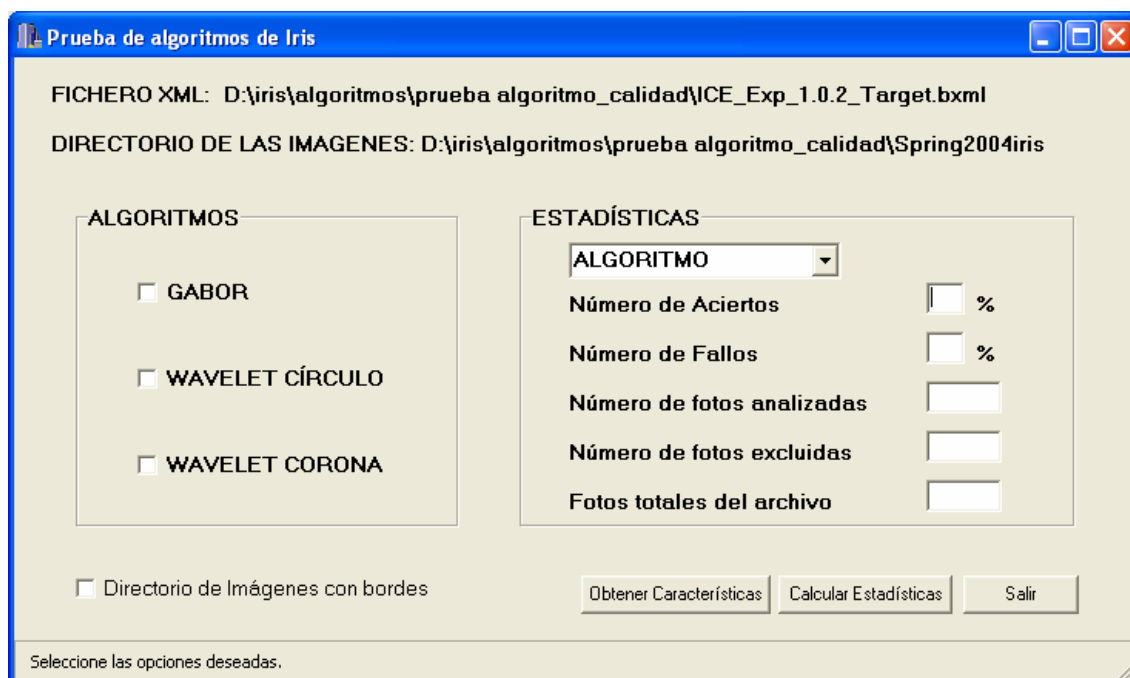


Figura 5.9. Pantalla principal para el análisis de los algoritmos y la obtención de resultados.



La primera de ellas simplemente se utiliza para elegir los datos necesarios para el desarrollo de la evaluación y obtener así su localización. Esta información se corresponde con:

- el fichero XML donde se encuentran detalladas las imágenes de los diferentes experimentos que se pueden realizar.
- la base de datos que contiene las imágenes.

La segunda pantalla es la principal y en ella se pueden realizar dos acciones principalmente:

- la extracción de características de cada una de las imágenes según los algoritmos que hayan sido seleccionados.
- el cálculo del tanto por ciento de aciertos y fallos para cada uno de los algoritmos elegidos previo análisis de los vectores de características, calculando la mínima distancia de Hamming y comparando la identidad de las fotografías para las cuáles se obtiene este valor.

5.3.1. Uso de la aplicación

A continuación se describe brevemente un pequeño manual que explica cómo se debe utilizar la aplicación.

Una vez ejecutada la misma aparece la pantalla de inicio (Figura 5.8). En ella mediante el manejo de los botones de “Abrir Fichero” y “Abrir Imagen de la base de datos” tiene lugar la apertura de un cuadro de diálogo donde se puede seleccionar tanto el archivo XML correspondiente al experimento que se va a realizar como una de las imágenes de la base de datos para que quede registrada la ruta de datos que proporciona el acceso a la misma para obtener la información necesaria para la evaluación a realizar. Un ejemplo de ello se puede ver en la Figura 5.10.

Cuando ya se han seleccionado ambos archivos, se pulsa el botón “Siguiente” para acceder a la pantalla principal de la aplicación.

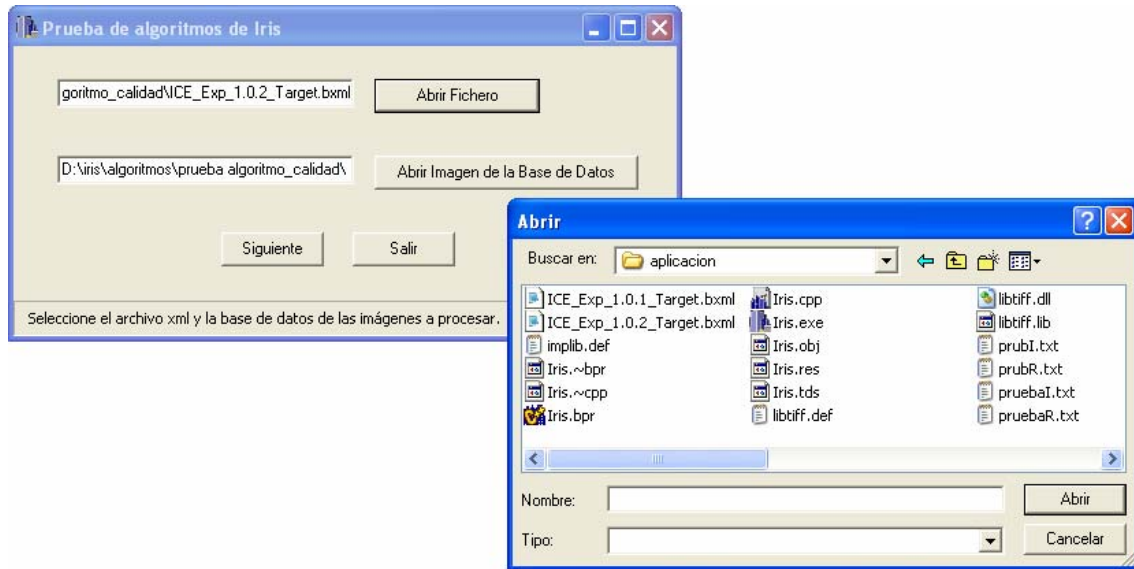


Figura 5.10. Cuadro de diálogo para seleccionar un fichero XML.

En la pantalla principal de la aplicación se pueden observar los diferentes elementos que la componen como se muestra en la Figura 5.11.

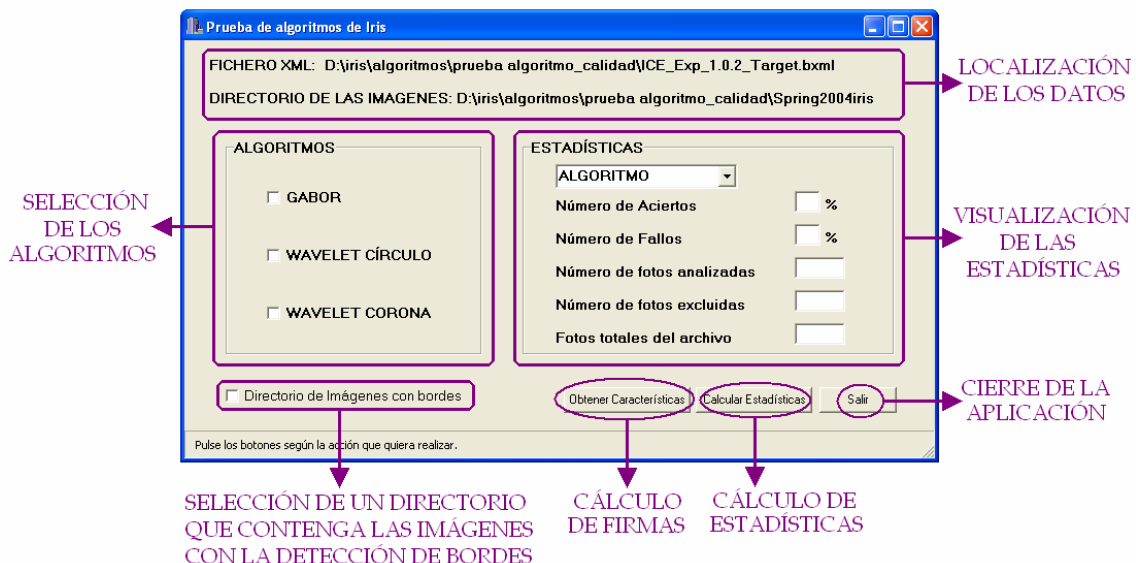


Figura 5.11. Elementos que componen la pantalla principal de la aplicación.

En la parte superior de la aplicación aparece la ruta de datos tanto del fichero XML como de la base de datos de las imágenes a procesar seleccionadas en la pantalla anterior.



En la parte izquierda de la pantalla se muestran los tres algoritmos que se pueden evaluar. Marcando cada casilla se elige los que se van a utilizar. Pueden señalarse varios a la vez.

En la parte derecha, se encuentran los resultados de evaluar los algoritmos al procesar las imágenes de la base de datos. En esta parte se detallan el tanto por ciento de aciertos y de fallos, el número de imágenes analizadas en el experimento, el número de fotos excluidas del análisis por una mala detección de bordes y el número de fotos totales que se tienen en el experimento.

Si se pulsa la flecha que se observa a la derecha de la palabra “algoritmo”, aparecen los algoritmos seleccionados anteriormente. Una vez elegido uno de ellos, los datos que se muestran en la parte de debajo son los correspondientes al mismo. Esto se puede ver en la Figura 5.12.

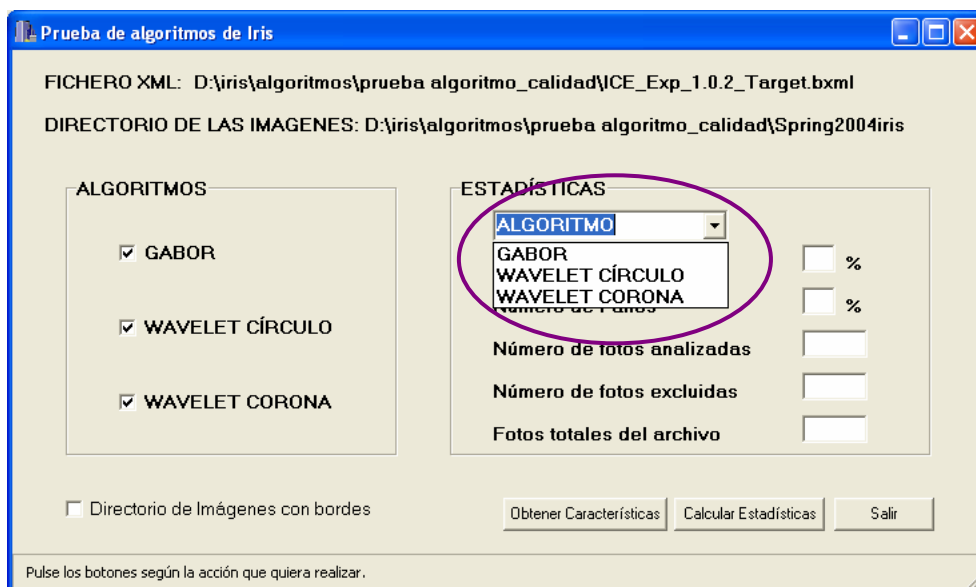


Figura 5.12. Pantalla en la que se muestra como elegir los resultados de los diferentes algoritmos.

En la parte inferior izquierda de la pantalla se puede ver una casilla que se puede habilitar o no. Si esta casilla se encuentra habilitada durante el proceso de extracción de características, se obtiene un directorio llamado “Bordes” en el que se van almacenando cada una de las imágenes con la detección del iris que ha sido llevada a cabo, como se comentó en el apartado de Preprocesado. Este directorio se crea en la misma localización del ejecutable.



Para terminar en la parte inferior derecha se encuentran tres botones encargados de iniciar diferentes procesos una vez que son pulsados. Estos son los siguientes:

- **Obtención de características:** al pulsar este botón, se calculan los vectores de características de todas las fotos de la base de datos, previa comprobación de su calidad. Se crea un directorio llamado “Características” donde se van a almacenar todas ellas para posteriormente poderlos utilizar. Decir que el cálculo de estas firmas se realiza para los algoritmos que previamente han sido seleccionados.
- **Cálculo de estadísticas:** cuando este botón es pulsado se desencadenan una serie de procedimientos para llegar a obtener todos los datos que se muestran como estadísticas. En primer lugar se calculan las distancias de Hamming de cada uno de los vectores de características pertenecientes a las imágenes con el resto, luego se busca la fotografía para la que se ha obtenido la mínima distancia y se compara la identidad de la imagen que para ese caso se ha tomado como patrón, contabilizando cuando se produce un acierto o un fallo.
- **Salir:** este botón provoca el cierre de la aplicación.

La secuencia de actuación viene descrita en todo momento en la barra de estado situada en la parte inferior de las pantallas. Dentro de la pantalla principal los pasos a seguir son los siguientes:

1. “Seleccione las opciones deseadas”. Se deben elegir los algoritmos a ejecutar y si se desea el directorio de las imágenes con la detección del iris efectuada.
2. “Pulse los botones según la opción que quiera realizar”. Ahora se debe seleccionar uno de los tres botones antes mencionados: Obtener características, calcular estadísticas o bien salir de la aplicación.
Si se pulsa el botón de obtener características se iniciará este proceso y en la barra de estado aparecerá la frase: “Procesando fotos con los algoritmos seleccionados...”. Una vez finalizado el mismo esta frase será

sustituída por: "Fin del procesamiento. Pulse el botón para comenzar el cálculo de las estadísticas."

Si por el contrario se pulsa el botón para calcular las estadísticas, se ejecuta este procedimiento y mientras tanto, en la barra de estado, se puede ver la frase: "Calculando estadísticas...". Cuando este se termina aparecen los resultados de las estadísticas así como en la barra de estado la frase anterior se cambia por: "Fin del cálculo de estadísticas. Disponibles los resultados de los algoritmos seleccionados.". Esta pantalla en concreto se muestra a modo de ejemplo en la Figura 5.13.

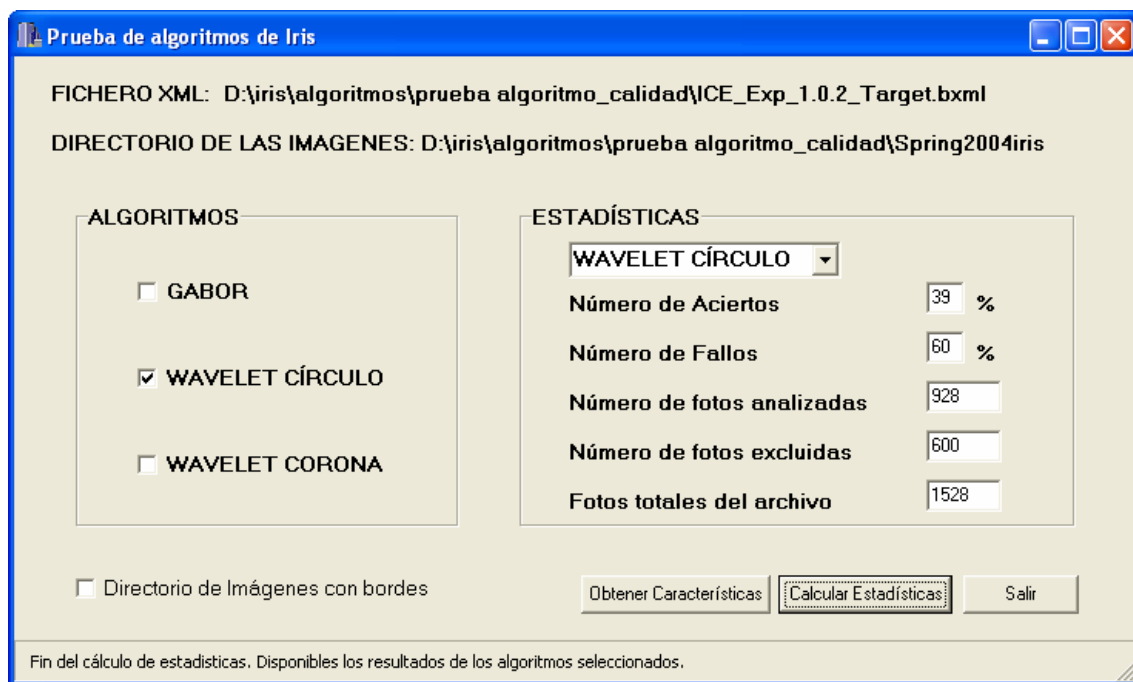


Figura 5.13. Pantalla en la que se muestran los resultados obtenidos.

Finalizada la explicación de todo el proceso y el desarrollo efectuado para llevar a cabo su consecución, se va a proceder a comentar los resultados obtenidos después de efectuar la evaluación del sistema de identificación aquí definido para los experimentos 1 (ojos derechos) y 2 (ojos izquierdos), al igual que los que se efectuaron en la Fase I de ICE (2005).



5.4. Resultados obtenidos

En este apartado se van a proporcionar los resultados obtenidos a partir del análisis realizado con la aplicación anteriormente descrita y siguiendo los pasos ya mencionados de manera que se obtengan el tanto por ciento de aciertos y de fallos de los diferentes algoritmos al procesar toda una base de datos.

Según el análisis efectuado el tanto por ciento de fallos expresa la tasa de falsa aceptación FMR (*False Match Rate*), es decir, la probabilidad de que una muestra de una determinada persona sea incorrectamente clasificada como perteneciente al mismo usuario de la muestra que en este momento se ha tomado como patrón.

Se han efectuado dos de los experimentos que se ejecutaron en ICE 2005, uno que analiza únicamente imágenes pertenecientes a los ojos derechos (experimento 1) y otro que hace lo mismo con las fotografías de los ojos izquierdos (experimento 2). Ambos se han explicado en el capítulo anterior y son sobre los que se van a detallar los resultados conseguidos al emplear cada uno de los algoritmos.

Una vez vistos los resultados logrados en ambos experimentos, estos van a ser analizados para poder extraer las oportunas conclusiones a cerca de los mismos. Además de buscar la explicación a estos resultados, también se efectuará una comparación entre los tres algoritmos evaluados.

5.4.1. Experimento 1: ojos derechos

El primero de los experimentos realizados ha sido en el que se analiza el sistema teniendo en cuenta únicamente las imágenes de los iris correspondientes a los ojos derechos. Los resultados obtenidos para los diferentes algoritmos son los que se muestran en la Tabla 5.1.



	FILTROS DE GABOR	TRANSFORMADA WAVELET CÍRCULO	TRANSFORMADA WAVELET CORONA
% aciertos	43%	40%	42%
% fallos	57%	60%	58%
Nº de fotos analizadas	830	830	830
Nº de fotos excluidas	595	595	595
Fotos totales	1425	1425	1425

Tabla 5.1. Estadísticas de la evaluación efectuada siguiendo el experimento 1.

5.4.2. Experimento 2: ojos izquierdos

El segundo experimento efectuado tiene que ver con el procesamiento de las imágenes de los iris pertenecientes a los ojos izquierdos. Los resultados obtenidos son los que se pueden ver en la Tabla 5.2.

	FILTROS DE GABOR	TRANSFORMADA WAVELET CÍRCULO	TRANSFORMADA WAVELET CORONA
% aciertos	39%	40%	41%
% fallos	61%	60%	59%
Nº de fotos analizadas	928	928	928
Nº de fotos excluidas	600	600	600
Fotos totales	1528	1528	1528

Tabla 5.2. Estadísticas de la evaluación efectuada siguiendo el experimento 2.

Una vez vistos los resultados de ambos experimentos se van a comentar los aspectos más significativos en relación a estos.

5.4.3. Comentarios sobre los resultados

A la vista de los resultados conseguidos, el sistema de identificación presenta un tanto por ciento de fallos o FMR alta tanto para los dos experimentos llevados a cabo como para todos los algoritmos evaluados. Las posibles causas de estos resultados son las siguientes:

- los algoritmos utilizados fueron desarrollados para fotografías tomadas en el rango del visible y en color. Como ya se mencionó en el Capítulo 4, las fotografías de la base de datos usada se encuentran dentro del rango infrarrojo y en escala de grises. Una adaptación del sistema a las características de las nuevas imágenes probablemente provocaría mejores resultados.
- por otro lado se ha aumentado el factor de diezmado de las imágenes al tener estas unas dimensiones mayores que las anteriormente utilizadas. El incremento de este factor ha sido calculado de manera proporcional al aumento del tamaño de las mismas. Puede ser que este cálculo no sea demasiado acertado y que se esté eliminando más información de la debida. Un ajuste de este parámetro a las nuevas imágenes podría mejorar los resultados.

Para poder comparar más fácilmente los resultados logrados por cada uno de los algoritmos, se han agrupado los datos de la tasa de fallos (FMR) en la gráfica que se muestra en la Figura 5.14.

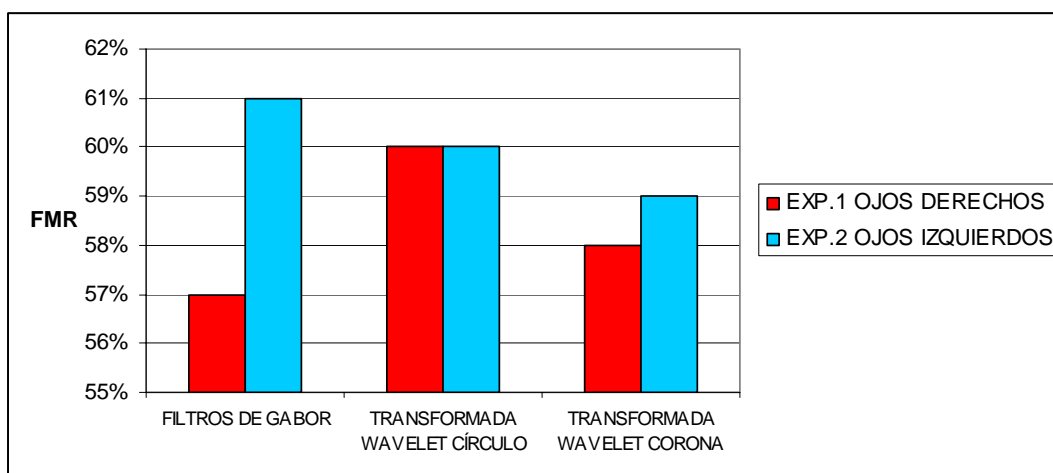


Figura 5.14. FMR de los diferentes algoritmos para ambos experimentos.



Respecto a los tres algoritmos utilizados, los resultados conseguidos teniendo en cuenta ambos experimentos, son mejores en general para el algoritmo que aplica la transformada Wavelet en la que se calcula la firma tomando datos de una corona circular. La razón de esto se debe a lo siguiente:

- en relación con la transformada Wavelet que utiliza una circunferencia como firma, la diferencia se debe a que al obtener la firma a partir de una corona se está efectuando una media aritmética de los píxeles correspondientes a todas las circunferencias presentes en dicha corona lo cuál permite eliminar el ruido existente en la imagen.
- en cuanto al algoritmo que aplica los filtros de Gabor, dependiendo del experimento se logran mejores o peores resultados. La causa de estas diferencias se debe a que el algoritmo de los filtros de Gabor no se adecua a la frecuencia como ocurre con la transformada Wavelet.

Si se comparan los resultados logrados frente a los recursos empleados, se obtienen, en general, mejores resultados para el algoritmo de la transformada Wavelet que para los filtros de Gabor mientras que número de operaciones necesarias para aplicar el algoritmo de los filtros Gabor es muy superior a las de que se necesitan para aplicar la transformada Wavelet. Esto lleva a decir que a igualdad de resultados es mejor utilizar el algoritmo de la transformada Wavelet ya que ahorra tiempo de ejecución y recursos computacionales.

Otro de los datos que resulta curioso dentro de la evaluación efectuada, es el gran número de fotos que quedan excluidas del análisis debido a la mala calidad obtenida en la detección de bordes. Esto se puede deber a los siguientes motivos:

- la detección de bordes, como ya se ha explicado, comienza localizando primero el borde exterior para luego pasar a delimitar el borde interior. Observando las imágenes de la base de datos, el mayor contraste para la estas fotografías se produce entre la pupila y el iris en vez de entre el iris y la esclerótica como ocurría con las imágenes para las que fueron implementados estos algoritmos. Un cambio en el orden de la detección de bordes probablemente provoque una mejor localización del iris y por lo tanto no se tendrán que desechar tantas fotografías.



- la mayoría de las fotos rechazadas tienen que ver con la desviación que se produce entre los centros de las dos circunferencias que delimitan el iris. Este cálculo supera un tanto por ciento del valor del radio de la circunferencia que determina el iris en su borde externo. Este parámetro de rechazo puede ser demasiado restrictivo. Habría que realizar una serie de pruebas para ajustarlo mejor.

Por último decir, que en la evaluación realizada en este proyecto también se observa el mismo efecto que ocurría en el análisis efectuado en ICE 2005. Se obtienen mejores resultados para los ojos derechos que para los izquierdos. Como ya se ha mencionado en el Capítulo 4, este hecho no tiene ninguna explicación teórica pero ocurre.



Capítulo 6:

Conclusiones y líneas futuras

En este capítulo se van a comentar las conclusiones a las que se ha llegado después de la realización del proyecto y las posibles mejoras o trabajos futuros que pueden surgir a raíz de lo visto en el mismo.



6.1. Conclusiones

Después de efectuar la evaluación de un sistema de reconocimiento basado en la técnica de identificación mediante iris ocular y una vez analizados los resultados obtenidos se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Se ha implementado un sistema de evaluación siguiendo la metodología impuesta por el NIST. Para ello ha sido necesaria la lectura de ficheros XML, el procesamiento de imágenes en formato “.tiff”, así como el desarrollo de determinadas aplicaciones mediante las cuáles se ejecuta todo el proceso.
- Se ha estudiado el rendimiento de los sistemas analizando la tasa de fallos (FMR) de los diferentes algoritmos y se ha podido comprobar cómo de todos ellos el que realiza mejor el reconocimiento es el que aplica la transformada Wavelet mediante corona circular dado que este filtra más el ruido además de que se adecua a la frecuencia.
- Se ha visto como la calidad de las imágenes a procesar es muy importante debido a que de esta característica dependen los resultados de los análisis. Cuanto mayor sea el contraste de la fotografía y la resolución de la misma, más fácil y con mayor precisión resulta la localización del iris dentro de esta.
- Se ha comprobado que sería necesario realizar un mejor preprocesado de las fotografías, para no desechar tantas imágenes en la fase de detección de bordes. Esto requiere un cambio en el procedimiento de localización del iris que se adapte al tipo de imágenes que contiene la base de datos.

Visto todo esto se van a enumerar una serie de trabajos futuros que se pueden derivar a partir del desarrollo de este proyecto.



6.2. Líneas futuras

Una vez planteada una metodología de evaluación funcional del sistema de identificación biométrica basado en el iris, se puede ampliar este trabajo en las siguientes direcciones:

- adaptar el procedimiento de búsqueda del contorno del iris dentro de la imagen a las características de las fotografías de la base de datos de manera que, como ya se ha comentado anteriormente, se localice antes el borde interno que el borde externo al producirse ahora un mayor contraste entre la pupila y el iris que entre el iris y la esclerótica.
- efectuar una evaluación que además de examinar el rendimiento del sistema en cuanto a la identificación de personas, lo analice también desde el punto de vista de la autenticación.
- desarrollar un mecanismo que permita comparar diferentes soluciones que se puedan proponer. La comparativa sería atendiendo a parámetros tales como el tamaño del código, el tiempo total de ejecución, el tiempo de ejecución por imagen, etc.
- generalizar esta metodología a otras modalidades biométricas, de manera que se pueda evaluar el rendimiento de otras técnicas de identificación de personas.
- ampliar la evaluación, para que cubra otras características de seguridad y de usabilidad (la cual puede redundar en la seguridad) del sistema biométrico de iris.



Capítulo 7: **Bibliografía**



- [Dau93]: J.G. Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 15, n. 11, pp.: 1148-1161, 1993.
- [Dau04]: J.G. Daugman, "How Iris Recognition Works", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video-Technology*, vol. 14, n. 1, pp. 21-30, 2004.
- [Fer06]: P. Ferruelo Soler , "Proyecto Fin de Carrera: Identificación biométrica en dispositivos integrados, 2006.
- [ICE05]: Página web de ICE-NIST
<http://iris.nist.gov/ICE/>
- [Jai89]: A.K. Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice Hall, 1989.
- [LgI03]: Página web de Lg Electronics
<http://www.lgiris.com/iris/compares.html>
- [Mal91]: S. Mallat, "Zero-Crossing of a wavelet transform", *IEEE Transactions on Information Theory*, 37, pp. 1019-1033, 1991.
- [Mal99]: S. Mallat, "A Wavelet Tour of Signal Processing", Academic Press, 1999.
- [Mun01]: Página web de Mundolinux
<http://mundolinux.iespana.es/linux/unixsec/node14.html>
- [Phi05]: P. Jonathon Phillips, "FRGC and ICE Workshop", 2006.
http://iris.nist.gov/ICE/ICE_2005_Results_30March2006.pdf#search=%22ICE%202005%20Result%22
- [San00]: R. Sánchez-Reílló, "El Iris Ocular como parámetro para la Identificación Biométrica", *Revista Agora SIC*, n. 41, 2000.
http://revistasic.com/revista41/agorarevista_41.htm



- [San02]: C. Sánchez-Ávila, D. de Martín-Roche y R. Sánchez-Reíllo, "Iris-based Biometric Recognition Using Dyadic Wavelet Transform", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 17, n. 10, pp. 3-6, 2002.
- [Tap05]: M. Tapiador Mateos y J.A. Sigüenza Pizarro, "Tecnologías Biométricas aplicadas a la seguridad", Ra-Ma, 2005.
- [Tec01]: Página web de Tecnociencia
<http://www.tecnociencia.es/monograficos/biometria/biometria2.html>
- [UaB01]: Center for Unified Biometrics and Sensors (Universidad de Buffalo)
<http://www.cedar.buffalo.edu>
- [UHC01]: Página web de University Health Care
<http://uuhsc.utah.edu/healthinfo/spanish/Eye/illustra.htm>
- [Umm01]: Página web de la Universidad Médica de Maryland
<http://www.umm.edu>
- [Wil97]: R.P. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technologic", *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, n. 9, pp. 1348-1363, 1997.